

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт  
Факультет механико-технологический  
Кафедра «Технологические процессы и автоматизация машиностроительного  
производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Сергеев  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Автоматизированная установка вихретокового контроля прутковых заготовок

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты  
Безопасность жизнедеятельности,  
зав. кафедрой МАЭ  
\_\_\_\_\_ В.Г. Некрутов  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Руководитель проекта,  
доцент  
\_\_\_\_\_ К.М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор проекта  
студент группы ДО-483  
\_\_\_\_\_ Е.А. Голубев  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер,  
доцент  
\_\_\_\_\_ Ю.С. Сергеев  
\_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	7
1.1 Возможные технологические решения по источникам патентной информации .....	7
1.2 Сравнительный анализ .....	8
2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ.....	11
3 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИЦИИ ДЛЯ УЗЛА КОНТРОЛЯ .....	16
3.1 Выбор вихретокового датчика.....	16
3.2 Выбор датчика линейной скорости перемещения.....	21
3.3 Выбор электродвигателей рольгангов.....	23
3.3 Разработка устройства для подачи прутков в зону контроля .....	25
3.3 Сортирующее устройство для проверенного прутка .....	26
4 РАЗРАБОТКА МАРКИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА .....	28
4.1 Описание возможных конструкторских решений .....	28
4.2 Обзор дозирующих устройств .....	29
4.3 Разработка маркера.....	33
4.4 Автоматические клапаны для подачи красящего раствора.....	34
4.5 Информационная структура дозатора, как объекта управления.....	37
4.6 Функциональная схема узла маркировки.....	38
4.7 Система управления узлом маркировки.....	39
4.8 Структурная схема маркирующего устройства .....	40
5 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ МАРКИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА.....	44
5.1 Выбор шагового двигателя маркера.....	45
5.2 Выбор и расчет электромагнита .....	46
6 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ..	50
7 ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА .....	53
7.1 Программируемый логический контроллер «Каскад».....	53
7.2 Программа управления маркирующего устройства .....	56
8 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ .....	57
8.1 Точностной расчет узла контроля .....	57
8.2 Математические модели для расчета интенсивностей отказов основных комплектующих изделий.....	58
8.3 Расчет общего значения интенсивности отказов для всех элементов системы .....	61
8.4 Расчет наработки до отказа.....	61
9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	64
10 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	80
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	81

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства — это процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контролирования, прежде выполнявшиеся человеком, переходят автоматическим устройствам и приборам. Введение автоматизации на производстве дает возможность существенно увеличить эффективность выполняемой работы, обеспечить стабильное качество выпускаемого продукта, сократить долю работников, занимающихся в разных областях изготовления. До внедрения автоматизированных средств замена физического труда совершалась с помощью механизации основных и вспомогательных операций производственного процесса. Интеллектуальный труд длительный период оставался никак не механизированным (ручным). В наше время операции физического и умственного труда, поддающиеся формализации, становятся объектом механизации и автоматизации.

Увеличение количества выпускаемой продукции и повышение качества этой продукции предъявляет высокие требования к технологии производства продукта, а так же к процессу контроля изготовления на всех стадиях производства. Одним из важнейших направлений решения этих задач является механизация и автоматизация производства. С целью освобождения работника от ручного, мало-квалифицированного труда, а так же для увеличения точности и качества контроля необходимо использование различных автоматизированных и автоматических систем контроля параметров продукции.

Цель данной выпускной квалификационной работы - обосновать необходимость разработки и разработать автоматизированную установку вихретокового контроля прутковых заготовок с маркировкой поврежденного места, которая будет контролировать широкий спектр деталей за счет универсальных возможностей, быстрой перенастройки и адаптации к объектам различных форм и типоразмеров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать структурную схему проектируемой установки;
- выбрать технические средства автоматизации;
- разработать и выбрать элементы конструкции маркирующего устройства;
- выбрать элементарную базу для разрабатываемой установки;
- написать управляющую программу для программируемого логического контроллера

- рассчитать себестоимость проектируемой установки ;
- рассмотреть вопросы безопасности жизнедеятельности.

Объектом автоматизации является процесс контролирования и маркирования круглого металлического проката.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

# 1 ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

## 1.1 Возможные технологические решения по источникам патентной информации.

Таблица 1 – Поиск информации об устройствах вихретокового контроля

Страна поиска	Классификационные индексы МПК, по которым проводился поиск	Перечень просмотренных материалов	Название аналогов (изобретения, модели). Библиографические данные, достаточные для их нахождения
1	2	3	4
РФ	G01N27/90	<a href="http://www.fips.ru">www.fips.ru</a>	Вихретоковый дефектоскоп и способ его настройки. Патент № 2073232 ,2007г. Способ вихретокового контроля и устройство для его осуществления. Патент № 2365910 ,2009г. Вихретоковый дефектоскоп для контроля длиннономерных проводящих изделий Патент № 2397486,2010 Цифровой вихретоковый дефектоскоп Патент № 2411517, 2011
Германия	-	<a href="http://www.dpma.de">www.dpma.de</a> <a href="http://www.epo.org">www.epo.org</a>	Аналогов не обнаружено
Великобритания	-	<a href="http://www.patent.gov.uk">www.patent.gov.uk</a> <a href="http://www.epo.org">www.epo.org</a>	Аналогов не обнаружено
США		<a href="http://www.uspto.gov">www.uspto.gov</a>	Аналогов не обнаружено.
Франция	-	<a href="http://www.inpi.fr">www.inpi.fr</a> <a href="http://www.epo.org">www.epo.org</a>	Аналогов не обнаружено.
Япония		<a href="http://www.jpo.go.jp">www.jpo.go.jp</a> <i>рефераты заявок на изобретения на английском языке</i>	Аналогов не обнаружено.

## 1.2 Сравнительный анализ

Известен «Способ вихретокового контроля и устройство для его осуществления» (Пат. 2365910), основан на использовании вихретокового преобразователя в виде параллельного колебательного контура, который устанавливают в зоне контроля и периодически формируют в колебательном контуре собственные затухающие колебания, по величине затухания судят об изменениях физико-механических параметров контролируемого объекта, при этом колебательный контур периодически подключают к заряженному разрядному конденсатору для формирования в параллельном колебательном контуре собственных затухающих колебаний, величину затухания переходного процесса измеряют путем детектирования, фильтрации и интегрирования сигнала переходного процесса, возникающего в контуре после каждого подключения его к разрядному конденсатору, после окончания переходного процесса колебательный контур отключают от разрядного конденсатора, после чего разрядный конденсатор подключают через разрядный резистор к источнику стабильного постоянного напряжения и вновь медленно заряжают разрядный конденсатор до напряжения источника.

Достоинство: повышение чувствительности и точности, уменьшение потребляемой электрической мощности и более простая реализация схемы.

Недостатки: контроль исключительно малых объектов.

Известен «Вихретоковый дефектоскоп для контроля длинномерных проводящих изделий» (Пат. 2397486), который содержит последовательно соединенные генератор переменного тока, вихретоковый дифференциальный преобразователь (ВТП) проходного типа, компенсатор начальной ЭДС, усилитель высокой частоты, амплитудно-фазовый детектор, фильтр нижних частот, предварительный усилитель низкой частоты, фильтр верхних частот, регулируемый усилитель низкой частоты, пороговое устройство, блок управления сортировкой, фазовращатель, источник постоянного тока и соленоид, причем генератор связан со вторым входом компенсатора напрямую, а со вторым входом амплитудно-фазового детектора через фазовращатель, при этом дефектоскоп дополнительно снабжен второй дифференциальной парой измерительных обмоток, смещенной по оси ВТП на заданное расстояние аналого-цифровым преобразователем (АЦП), с помощью которого производится измерение выходных сигналов, про-граммно-управляемым микропроцессором, вторым измерительным каналом, состоящим из последовательно соединенных компенсатора начальной ЭДС, усилителя высокой частоты, амплитудно-фазового детектора, фильтра нижних частот, предварительного усилителя низкой частоты, фильтра верхних частот, регулируемого усилителя низкой частоты, фазовращателя, включенного между вторым выходом генератора и вторым входом дополнительного амплитудно-фазового детектора, микропроцессор также связан по адресным шинам и шинам данных с генератором, двумя фазовращателями, двумя фильтрами верхних частот, двумя регулируемыми усилителями низкой частоты, АЦП, пороговым устройством и блоком управления сортировкой.

Достоинство: повышение помехозащищенности дефектоскопа.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Недостатком такой системы является её повышенная сложность и как следствие недостаточная надежность.

Известен «Цифровой вихретоковый дефектоскоп» (Пат. 2411517), содержит последовательно соединенные генератор и вихретоковый преобразователь, подключенный к каналам измерения амплитуды и фазы выходного напряжения вихретокового преобразователя, два преобразователя аналог-код, подключенные к выходам каналов измерения амплитуды и фазы, выходы преобразователей аналог-код присоединены ко входам логической схемы. Цифровой вихретоковый дефектоскоп снабжен переключателем, соединенным входами с выходами логической схемы, а выходами - с запоминающим устройством и сравнивающим устройством, причем выходы сравнивающего устройства соединены с входами дисплея.

Достоинства: обеспечивает повышение точности и достоверности контроля сварных соединений за счет создания условий для проведения градуировки цифрового вихретокового дефектоскопа по эталонным образцам качественных и дефектных точечных сварных соединений изделий из немагнитных металлов

Недостаток :Не может быть использован для дефектоскопии длинномерных деталей типа «вал», т.к. предназначен для для дефектоскопии точечных сварных соединений из немагнитных металлов.

Так же на мировом рынке вихретоковых установок существует французская компания Contrôle Mesure Systèmes. Вихретоковые дефектоскопы фирмы CMS предназначены для установки в поточные линии по производству труб, прутка, проволоки, горячего проката, листа, сортового проката, для контроля качества отливок и штампованных изделий, входного контроля продукции. Многофункциональные вихретоковые системы позволяют выявлять поверхностные и подповерхностные дефекты глубиной от 0,03 мм и выше (любого размера, заданного при настройке, в соответствии с применяемым стандартом). Система данной фирмы обладают огромным рядом достоинств таких как: высокие технические характеристики, возможность работы в любой поточной производственной линии, высокие эксплуатационные и эргономические характеристики простота и удобство в работе. Но данные системы имеют очень высокой стоимостью, так же данные системы являются технически законченными и её нельзя никак усовершенствовать или доработать. Данная фирма не изготавливает, например, только датчики или счетчики, они продают только полностью готовую систему со своим программным обеспечением, блоками питания, блоками управления, модулями, стойками и т.д.

Так же известен российский патент «Вихретоковый дефектоскоп и способ его настройки» (Пат.2073232), состоящий из последовательно соединенных автогенератора, параллельный колебательный контур которого содержит вихретоковый преобразователь и конденсатор, детектора и индикатора, отличающийся тем, что в него введены переменный резистор и катушка индуктивности, причем первая ветвь параллельного колебательного контура образована параллельно соединенными вихретоковым преобразователем и переменным резистором, последовательно которым подключен конденсатор, а вторая ветвь состоит из катушки

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9



## 2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ

Разрабатываемая автоматизированная установка предназначена для проверки и маркирования повреждённого места таких деталей как прутки, трубы и проволока.

Принцип работы установки состоит в том, что контролируемое изделие (прутки, трубы) со стеллажа подается на вращающиеся рольганги, с помощью которых изделие протягивается через чувствительный элемент (вихретоковый датчик), который в случае обнаружения повреждения отправляет сигнал на автоматический маркировщик, который помечает место повреждения. Далее рольганги перемещают изделие на сортировочную установку, которая сортирует поврежденные и не поврежденные изделия.

Задача автоматизированной установки состоит в обнаружении поверхностных и подповерхностных дефектов. Средства контроля предназначены для обнаружения дефектов типа несплошности материала.

Для выполнения поставленной задачи возможно использовать два метода обнаружения дефектов: химический и вихретоковой. Химический метод контроля основывается на применении такого химического раствора, как электролит (водный раствор сульфата натрия), контролируемое изделие протягивается через раствор, а счетчик считывает число поврежденных мест на этом изделии с сопротивлением изоляции 260 кОм или менее. Метод дает возможность выявления дефектов размеров менее 2 мкм, однако имеет ряд недостатков, такие как: низкий коэффициент полезного действия (в сравнении с вихретоковым методом), дороговизна обслуживания, большие габариты, так же работа с химическими растворами.

Вихретоковый метод основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем предмете контроля данным полем, то есть вихревые токи могут появляться только лишь в дефектных местах изделия. Этот способ контроля дает возможность проводить контроль с высокой точностью, большим коэффициентом полезного действия, также есть возможность применения бесконтактного датчика. Плюсами данного метода по сравнению с химическим методом, будут более дешевое обслуживание, не такие большие габариты. Недостатком является то, что данный датчик более дорогой, чем химический (данный недостаток перекрывается стоимостью обслуживания химического метода).

Вихретоковые методы контроля обычно имеют диапазон частот приблизительно до 10 МГц - с дифференциальными катушками, которые как правило применяются для контроля поверхностных дефектов каких-либо изделий. Контроль изделий, типа прутков, проволока и труба, контролируются с помощью проходных вихретоковых катушек для выявления дефектов в форме трещин и отверстий. (В соответствии с рисунком 2.1)

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

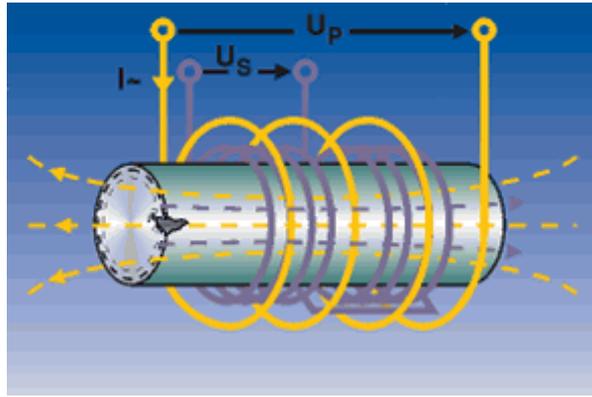


Рисунок - 2.1 Вихретоковый контроль с использованием проходного вихретокового датчика.

В устройствах с проходными датчиками контролируемые изделия проходят через индуктивную катушку датчика, возбуждающую переменные токи установленной частоты. Вследствие этого в материале контролируемого изделия наводятся вихревые токи. Несплошность материала либо какое-либо другое повреждение провоцируют изменения в распространении вихревых токов, которые обнаруживаются устройством и показываются оператору установки. Обычно, приборы с проходными датчиками используются с целью обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов в изделиях с постоянным внутренним сечением, так же возможно выявления дефектов сварных швов. Дефекты сварных швов можно выявлять с помощью накладных либо сегментных вихретоковых датчиков, область контроля этих датчиков ограничивается частью изделия, например, зоной сварного шва. (Рисунок 2.2)

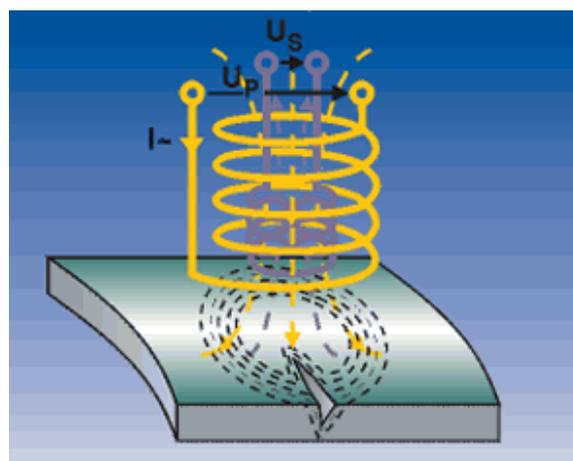


Рисунок 2.2 – Контроль с помощью сегментного вихретокового датчика

В выпускной квалификационной работе разработана схема, в которой контролируемое изделие протягивают через проходной вихретоковый датчик, данные о дефекте передаются на счетчик, передающий сигнал на маркировщик (краскоотметчик), который маркирует поврежденное место. (В соответствии с рисунком 2.3)

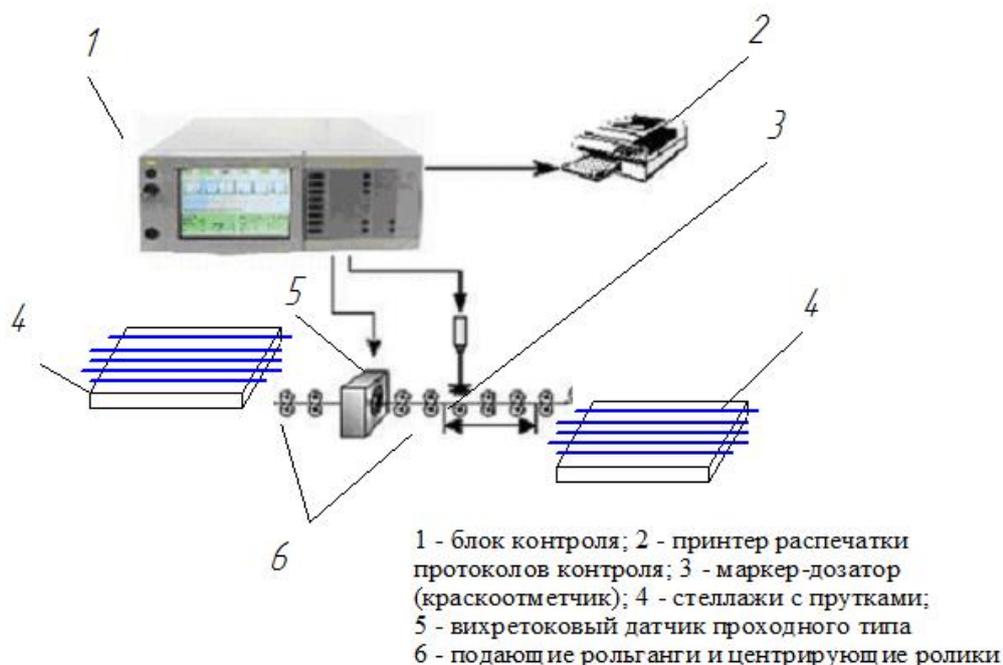


Рисунок - 2.3. Структурная схема системы контроля

Маркировщик позволяет автоматически пометать выявленные дефекты материала, которые выявляются вихретоковым датчиком.

Подобная схема контроля с проходным вихретоковым датчиком, реализована например, в дефектоскопе ВД- 40П фирмы НПФ «Ультракон» (г. Киев) (Рисунок 2.4)



Рисунок 2.3 - Дефектоскоп ВД- 40П фирмы НПФ «Ультракон» (г. Киев)

Вихретоковый дефектоскоп ВД-40П используется для контроля сплошности проката и труб в трубном и прокатном производстве, а также для обеспечения качественного входного контроля на машиностроительных заводах.

Дефектоскоп ВД-40П производит в контролируемом проводящем изделии возбуждающий импульс вихревых токов. При обнаружении на поверхности контролируемого объекта дефектов несплошности прибор выполняет регистрацию изменений электромагнитного поля. Порог чувствительности дефектоскопа ВД-40П соответствует требованиям российских и зарубежных стандартов.

Принцип работы основан на возбуждении в контролируемом металлическом продукте, типа труба, прутки, проволока, вихревых токов и контроль изменения электромагнитного поля данных токов, обусловленных появлением поврежденного места в области контроля. В приборе применяется вихретоковый датчик проходного типа. Способ анализа сигнала амплитудно-фазовый.

Выявляет повреждения вида нарушений сплошности (непровар, ужим, трещин, волосовины, закаты, рванины) как в зоне шва, так и на наружной поверхности изделия.

Разработка автоматизированной установки вихретокового контроля прутковых заготовок:

Автоматизированная установка вихретокового контроля прутковых заготовок состоит из 2-ух основных узлов: стол контроля и стол маркировки (В соответствии с рисунком 2.4). Для разрабатываемой системы задан диапазон диаметра контролируемых изделий от 4 до 36 мм и минимального размера повреждения от 1 мкм. С помощью разрабатываемой автоматизированной можно будет проводить контроль не только проволоки и прутков заданного диаметра, но также можно будет проводить контроль поверхности труб, из этого следует, что разрабатываемая автоматизированная установка становится универсальной в плане контролируемых изделий. Для обеспечения центрирования и поддержки контролируемого изделия в установке применяются консольные ролики, которые возможно быстро сменить при возникновении необходимости контроля изделий различного диаметра. Весь блок контроля смонтирован на столе с меняющимся уровнем пола, в таком случае на каждой из четырех ножек установлена система регулировки высоты, позволяющая выровнять стол в нужное положение, что важно при использовании роликов и подающих рольгангов. В блоке контроля применяется счетчик, как элемент подсчета количества повреждений, а так же как связующий элемент с узлом маркировки, так как при выявлении повреждения происходит отправление сигнала на маркировщик, который маркирует поврежденное место.

Конструктивно разрабатываемая установка состоит из 2-ух столов, стола контроля и стола маркировки (позиция 5 и 8) со столешницей, с закреплёнными на них приводом, датчиком (позиция 4), счётчиком числа повреждений, маркировщиком (позиция 6), направляющими вращающимися роликами (позиция 2), так же имеется стеллаж с непроверенными изделиями, которые подаются на по-

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14



## 3 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИЦИИ ДЛЯ УЗЛА КОНТРОЛЯ

### 3.1 Выбор вихретокового датчика

Для процесса контроля необходимо выбрать соответствующий вихретоковой датчик. На мировом рынке имеется ряд изготовителей вихретоковых датчиков: американская корпорация Bently Nevada; американская компания Metrix Instrument Co.; шведская компания SKF, датская компания Bruel & Kjaer, немецкая компания Foerster.

Российское федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии требования к техническим характеристикам вихретоковых датчиков (диапазон измерения, чувствительность, нелинейность, шум и др.) никак не конкретизирует, имеются только лишь рекомендации по метрологическому обеспечению и способам контроля. Поэтому зачастую вихретоковые датчики от разных российских изготовителей существенно различаются друг от друга своими техническими параметрами. Считаю, что технические характеристики вихретоковых датчиков должны быть стандартизованы, поэтому выбор будет производиться от импортных производителей вихретоковых датчиков, изготовление которых производится по американскому стандарту API 670, который сейчас можно сказать считается международным. В зависимости от положения датчика по отношению к изделию (объекту контроля) они делятся на проходные, накладные и комбинированные. Различают два способа соединения катушек (обмоток) - абсолютные и дифференциальные датчики. Абсолютным называют датчики (рисунок 3.1, а), сигнал на входе которого определяется абсолютными значениями параметров объекта контроля в зоне контролирования. Дифференциальным датчика обычно называют, совокупность двух датчиков, обмотки этих датчиков соединены так (рисунок 3.1, б), что сигнал на выходе определяется разностью параметров объекта контроля в соответствующей зоне контроля.

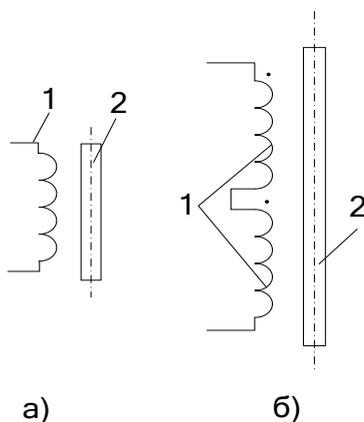


Рисунок 3.1 - Абсолютный (а) и дифференциальный (б) датчики: 1 - возбуждающая обмотка; 2 - объект контроля

Таблица 2 - Вихретоковые датчики

№	Наименование датчиков	Характеристики датчиков
1	Foerster –LMD 2.91.30	Диаметр контролируемых изделий $\varnothing 1,4-40$ мм Габариты 160x150x50 Цена 8100рублей.
2	Rohmann EC20	Диаметр контролируемых изделий $\varnothing 4-22$ мм Габариты 190x140x60 Цена 8600 рублей.
3	VK-402 A	Диаметр контролируемых изделий $\varnothing 2-7$ мм Габариты 150x120x70 Цена 5800 руб.
4	Phases 3d	Диаметр контролируемых изделий $\varnothing 2-10$ мм Габариты 130x120x 90 Цена 9800 рублей.

Просмотрев разные датчики, от различных импортных производителей, видно, что более оптимальными характеристиками обладает датчик под номером 1, который обладает довольно-таки большим диапазоном измерения, небольшими габаритами и ценой.

Выбранный вариант, является проходным дифференциальным датчиком.

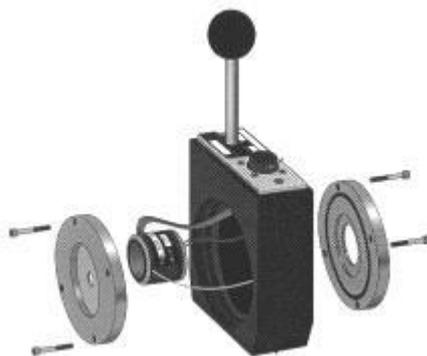


Рисунок 3.2 Датчик Foerster –LMD 2.91.30

Во многих подобных вихретоковых датчиках элемент катушки составляет единое целое с кожухом и заполнен герметизирующим составом, выбранный же датчик Foerster –LMD 2.91.30 имеет модульную конструкцию. (Рисунок 3.2). Следовательно, имея модульную конструкцию, датчик является ремонтпригодным. Изготовитель предоставляет необходимые части для выполнения ремонтных работ: чувствительный элемент катушки: центрирующие диски, разъем для подключения.

Российские производители вихретоковых проходных датчиков изготавливают их под конкретное изделие т.е. для изделий разных диаметров нужно приме-

нять разные датчики, что является ещё одним довод в пользу датчика от импортного производителя.

### 3.1.1. Расчет проходного вихретокового датчика

Расчет производится, согласно методике указанной в источнике [4].

Рассчитываем радиус катушки возбуждения. Максимальным диаметром зоны контроля будут 36 мм, согласно заданию.

$$D_{зк} = 2D_{кат}, \quad (3.1)$$

где  $D_{зк}$  - диаметр зоны контроля,  $D_{кат}$  - диаметр катушки возбуждения.

Подставив полученные значения в (3.1) получаем

$$R_{кат} = \frac{D_{кат}}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ мм.}$$

Кожух и каркас катушки изготавливается из таких изоляционных материалов как капролон, гетинакс, оргстекло, эбонит и др. Провода обмотки возбуждения имеют диаметр от 0.01 до 0.3 мм. Из данного условия, согласно источнику, диаметр провода возбуждающей катушки возьмём равным  $d_{пр} = 0,2$  мм.

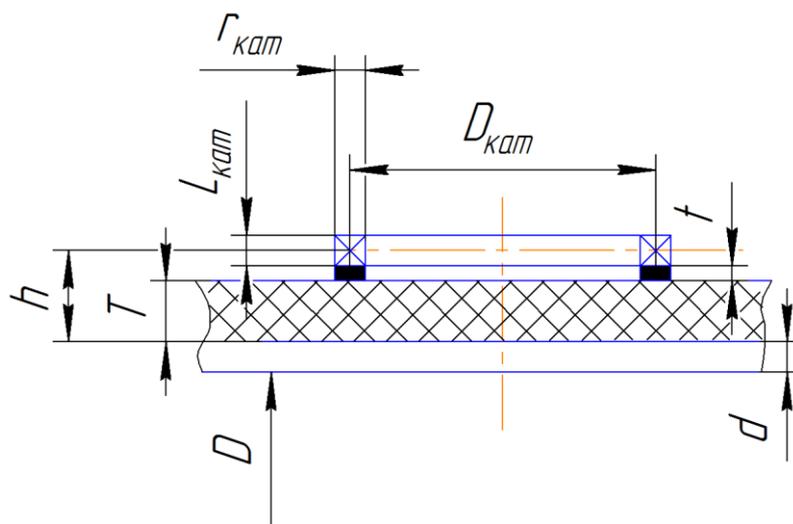


Рисунок 3.3 - Расчетная схема вихретокового проходного датчика

На рисунке 3.3  $r_{кат}$  - толщина катушки,  $L_{кат}$  - длина катушки,  $D_{кат}$  - диаметр катушки,  $D$  - диаметр контролируемого изделия,  $h$  - зазор,  $T$  - толщина непроводящего покрытия,  $T = (1..2)$  мм,  $t$  - толщина протектора.

Определяем по формуле (3.2) количество витков в одном слое обмотки возбуждения:  $W_{сл} = \frac{L_{кат}}{d_{пр}}, \quad (3.2)$

где  $L_{кат}$  - длина катушки,  $d_{пр}$  - диаметр провода обмотки возбуждения.

Найдем длину возбуждающей катушки

$$L_{кат} = 0,1 \cdot D_{кат} = 0,1 \cdot 18 = 1,8 \text{ мм.} \quad (3.3)$$

В этом случае толщину возбуждающей катушки  $r_{кат}$  можно взять равной длине катушки, то есть принять

$$r_{кат} = L_{кат} = 1,8 \text{ мм.} \quad (3.4)$$

Число витков в одном слое возбуждающей катушке, находим подставив (3.3) в (3.2) :

$$W_{сл} = \frac{1,8}{0,2} = 9 \text{ ВИТКОВ}$$

Исходя из формулы (3.4) находим количество слоев в возбуждающей катушке

$$N = \frac{r_{кат}}{d_{пр}} = \frac{1,8}{0,2} = 9 \text{ слоев.} \quad (3.5)$$

В итоге, получаем пятислойную возбуждающую катушку, в которой в каждом слое будет по 5 витков, следовательно, общее количество витков в возбуждающей обмотке:

$$W = N \cdot W_{сл} = 81 \text{ виток.} \quad (3.6)$$

Найдем по формулам (3.7) и (3.8) длину и площадь провода

$$l_{пр} = \pi \cdot D_{кат} \cdot W = 4578,12 \text{ мм,} \quad (3.7)$$

$$S_{пр} = \frac{\pi \cdot d_{пр}^2}{4} = 0,0314 \text{ мм}^2. \quad (3.8)$$

Исходя из найденных геометрических параметров возбуждающей катушки, выберем толщину протектора равной  $t = 0,5 \text{ мм}$ .

Подставив найденные ранее значения, находим по формуле значение обобщенного зазора:

$$h = 0,5 \cdot L_{кат} + t + T. \quad (3.9)$$

Получаем значение обобщенного зазора  $h = (2,4. .3,4) \text{ мм}$ .

Рассчитываем по формуле относительные значения зазоров:

$$h_* = \frac{h}{R_{кат}}. \quad (3.10)$$

Получаем значение относительного зазора  $h = (0,3, 0,36, 0,425)$ .

При контроле зазора, выбирается высокая рабочая частота, следовательно, параметр  $\beta$  нужно принять  $\beta > 20$ .

Значение обобщенного параметра контроля принимаем  $\beta = 20$ .

Рабочую частоту  $f_{раб}$  рассчитываем по формуле для вычисления обобщенного параметра контроля:

$$\beta = R_{кат} \sqrt{\omega \mu_a \sigma}, \quad (3.11)$$

где  $\beta$  - обобщенный параметр,  $R_{кат}$  - радиус возбуждающей катушки, м,

$\omega$  - круговая частота, рад/с,

$\mu_a = \mu \mu_0$ ,  $\mu$  - относительная магнитная проницаемость,  $\mu = 1$ ;

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

$$f_{\text{раб}} = \frac{\beta^2}{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{кат}}^2 \cdot \mu_a \cdot \sigma} = 35 \text{ кГц},$$

тогда  $\omega = 2\pi f_{\text{раб}} = 220 \text{ кГц}$ .

В свою очередь при  $\beta = 1$  граничная частота будет равна  $f_{\text{гр}} = 87 \text{ Гц}$ .

В зависимости от заданного диапазона температуры  $T = 0 \dots 40$  °С находится диапазон изменения УЭП. Изменение температуры  $\Delta T = \pm 20$  °С.

$$\varepsilon = \Delta T \cdot \sigma = 20 \cdot 0,428\% = 8,56\%,$$

где  $\alpha$  - температурный коэффициент удельного сопротивления, равный для меди  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ .

$$\Delta \sigma = \sigma \cdot \varepsilon = 58 \cdot 0,856 = 4,9648 \text{ МСм/м.}$$

Получили диапазон изменения УЭП  $\sigma \pm \Delta \sigma = (58 \pm 5) \text{ МСм/м}$ , т.е. при  $T = 0$  °С  $\sigma = 63 \cdot 10^6 \text{ См/м}$ , при  $T = 20$  °С  $\sigma = 58 \cdot 10^6 \text{ См/м}$ , при  $T = 40$  °С  $\sigma = 53 \cdot 10^6 \text{ См/м}$ .

Ток, который протекает по возбуждающей катушке  $I_{\text{max}}$ , А, рассчитываем по формуле (3.12):

$$I_0 = j S_{\text{пр}}, \quad (3.12)$$

где  $j$  - плотность тока в медном проводнике, для многослойной катушки плотность тока  $j = (3.4) \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ , берем  $j = 4 \text{ А/мм}^2$ ;  $S_{\text{пр}}$  - площадь поперечного сечения провода.

$$I_0 = 4 \cdot 0,0314 = 0,126 \text{ А.}$$

Напряженность магнитного поля внутри возбуждающей катушки находим по формуле:

$$H_0 = \frac{I_0 \cdot W}{L_{\text{кат}}}, \quad (3.13)$$

$$H_0 = 0,126 \cdot 25 / (1 \cdot 10^{-3}) = 3142 \text{ А/м.}$$

Рассчитываем индуктивность  $L_0$ , Гн, катушек:

$$L_0 = \frac{\mu_0 W^2 D_{\text{кат}} \Phi(\alpha)}{4\pi}, \quad (3.14)$$

где  $W$  - количество витков в катушке,  $D_{\text{кат}}$  - диаметр катушки,  $\Phi(\alpha)$  - величина, значения которой определяется из источника [4, стр.248] в зависимости от отношения:

$$\alpha = \frac{L_{\text{кат}}}{D_{\text{кат}}} = 0,1,$$

$$\Phi(\alpha) = 0,946.$$

$$L_0 = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 25^2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 0,946}{4 \cdot \pi} = 0,59 \text{ мкГн.}$$

Сопротивление катушки  $R_0$ , Ом,:

$$R_0 = \frac{4 \cdot L_{\text{кат}} \cdot D_{\text{кат}} \cdot N}{\sigma \cdot d_{\text{пр}}^3}, \quad (3.15)$$

где  $\sigma$  - удельная электрическая проводимость основания, МСм/м.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20





Рисунок 3.4 – Лазерный датчик скорости ИСД-5

Основные технические характеристики датчика рассмотрены в таблице 3.

Таблица 3

Параметр	Характеристика	Примечания
Диапазон измеряемых скоростей, м/с	0,02 – 20	Типичные значения. Чем меньше рабочее расстояние до объекта, тем меньше минимальные и максимальные измеряемые скорости.
Точность измеряемой скорости (стандартное отклонение)*, %	±0,07 ±0,02	Без усреднения С усреднением 0,2 - 0,3 с, при $V > 1$ м/с
Частота измерений, Гц	10, 20, 30, 50, 75, 100	Указывается при заказе
Тип излучателя	Диодный лазер видимого или ИК диапазона, 5, 12,40 мВт	класс 3В – 3R
Потребляемая мощность, Вт	0,5-2	
Диапазон рабочих температур датчика, °С	15-50	-10...+50 – с системой термостабилизации (опция)
Питание, В	12 (8 - 14)	Встроенные линейные стабилизаторы 5В в датчике
Вес датчика, г	320	

Так же с датчиком в комплекте идет процессорный блок обработки сигнала, которые имеет различные разъемы подключения.

Таблица 4 - Разъемы и назначение контактов

Назначения разъема	Тип	Назначение контактов, комментарии
Кабельный	DB9M	1 – GND питания 1 2 – GND сигнала 1 3 – Сигнал «+» 2 4 – Сигнал «-» 2 5 – «+» питания
Ethernet	RJ-45	Для соединения контроллера с компьютером по сети Ethernet 100 МБ (восьмипроводной кросс-кабель)
Импульсный выход	BNC	0 – 3В, макс. 8 мА <sup>3</sup>
Аналоговый выход	BNC	0,019 – 2,8 В, R <sub>вых</sub> = 15Ком <sup>4</sup>
Блокировка импульсного выхода	BNC	Вход, подача +5В останавливает импульсы на импульсном-выходе (выставляется «1»)
Питания	DS-016N гнездо	«+» на центральном контакте
	Вариант: PY04-4Z вилка	4-х контактный, 1,2 – «+» питания, 3,4 – GND.

### 3.3 Выбор двигателей рольгангов

Для того, что бы производить контроль изделий их необходимо протягивать через вихретоковой датчик, для осуществления этого нужно к рольгангам, которые будут перемещать изделие от стеллажа до сортировочной установки. Необходимо подсоединить такой двигатель с редуктором, который плавно будет перемещать пруток без возможных его проскальзываний. Так как автоматизированная установка будет производить контроль прутков и проволоки сечением от 4 до 36 мм, то нужно выбрать двигатель, который наиболее точно подойдет по мощности, для этого зададим минимальной и максимальной массой контролируемого прутка длиной три метра:

$$M_{min} = 0.4 \text{ кг} = 4 \text{ Н} - \text{ для прутка диаметром равным } d = 4 \text{ мм},$$

$$M_{max} = 24 \text{ кг} = 240 \text{ Н} - \text{ для прутка диаметром равным } d = 36 \text{ мм}.$$

Примем угловую скорость вращения двигателя  $\omega = 68 \text{ рад/с}$ ,  $n = 650 \text{ об/мин}$ .

$$P_{min} = 45.5$$

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$P_{max} = \frac{500 \cdot 680 \cdot 2 \cdot 3.14}{60} = 645.6$$

Таким образом, минимальная мощность двигателя должна быть равной  $P_{min.} = 0,045$  кВт, а максимальная может достигать  $P_{max.} = 0,645$  кВт. Из найденной мощности подбираем электродвигатель для рольгангов. Выбираем асинхронный двигатель АРМ 42-8 с короткозамкнутым ротором челябинской фирмы производителя «Кранрос».

Асинхронные двигатели на сегодняшний день составляют значительную часть электрических машин, которые применяются в основном в качестве электродвигателей, так же они являются основными преобразователями электрической энергии в механическую.

Достоинствами асинхронных двигателей является:

- Простота изготовления
- Невысокая цена
- Хорошая надежность при эксплуатации
- Низкие эксплуатационные затраты
- Возможность подключения к сети без преобразователей (для нагрузки не требующей регулирования скорости)

Так же двигатель имеет свои недостатки такие, как небольшой пусковой момент, высокий пусковой ток, максимальная скорость ограничена частотой сети. Но в нашем случае все эти недостатки будут устранены с помощью применения частотного преобразователя т.е. будет производиться питание двигателя через частотный преобразователь. Частотный преобразователь в нашем случае необходим для регулирования скорости двигателя.

Асинхронный двигатель АРМ 42-8 изготавливается по умолчанию на одинарное напряжение 380В (три клеммы в коробке выводов) или двойное напряжение 220/380 Вольт (шесть клемм в коробке выводов).

Таблица 5 – Технические характеристики электродвигателя АИР 100S2

Наименование	U, В	P, кВт	Частота вращения об/мин	КПД, %	Ток пусковой, А	Момент пусковой, Н*м	Масса, кг
АРМ 42-8	220-380	0,7	650	87	8,0	28	45

Так как, у нас есть необходимость регулирования скорости вращения двигателя, необходимо применить частотный преобразователь. Частотный преобразователь - это устройство для изменения частоты электрического тока (напряжения). В нашем случае будет использоваться частотный преобразователь электронного типа, который даст возможность плавного регулирования скорости асинхронных двигателей.

Для нашего двигателя подходит частотный преобразователь "Веспер" E2-MINI-S1L



Рисунок 3.5 - Частотный преобразователь «Веспер»

В таблице 6 представлены технические характеристики частотного преобразователя "Веспер" E2-MINI-S1L

Таблица 6 – Характеристики частотного преобразователя

Модель	Ток на выходе, А	Напряжение, В	Частота, Гц	Вес, кг	Мощность преобразователя, кВт
"Веспер" E2-MINI-S1L	8.5	220	0-200	0,9	0,75

Частотный преобразователь "Веспер" предназначен для общепромышленных нагрузок таких машин, как насосы, вентиляторы, воздухопроводки, компрессоры экструдеры, станочное оборудование, транспортерные и конвейерные ленты и т.д.

Данный частотный преобразователь имеет аналоговые и дискретные многофункциональные входы и выходы, что дает возможность управления скоростью асинхронного двигателем через программируемый логический контроллер.

### 3.4 Разработка устройства для подачи прутка в зону контроля

На рисунке 3.6 изображено устройство для поштучной загрузки прутка на рольганги автоматизированной установки. На раме стеллажа с прутками 1 закреплены три пневмоцилиндра 2 двухстороннего действия. Данные цилиндры перемещают специальное приспособление 3, которое захватывает один пруток и переключает его на подающие рольганги 4, которые в свою очередь отправляют пруток в зону контроля.

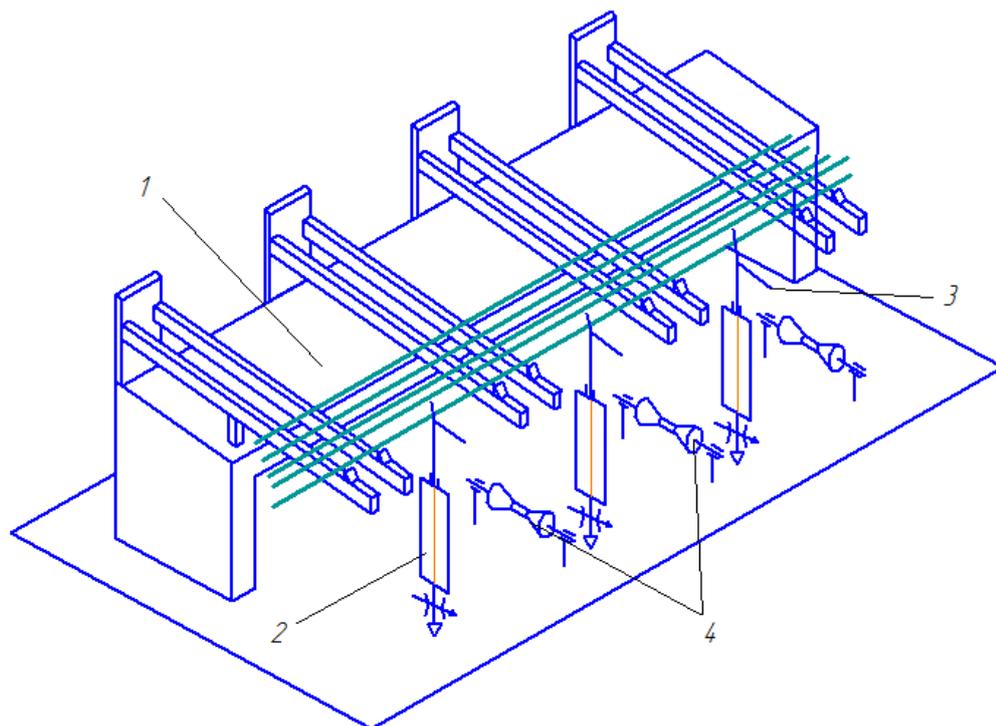


Рисунок 3.6 – Устройство для подачи прутка в зону контроля

### 3.5 Сортировочное устройство для проверенного прутка.

На рисунке 3.7 изображено сортирующее устройство для сортировки целого и бракованного изделия.

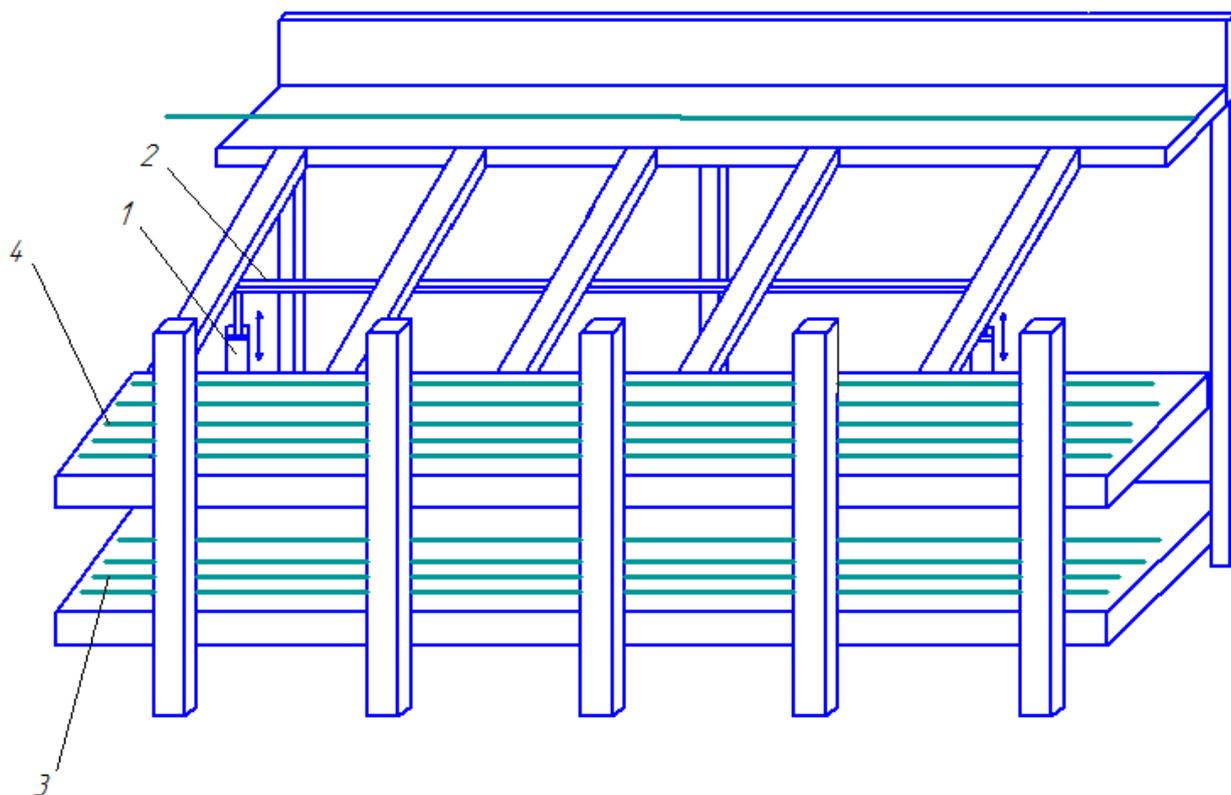


Рисунок 3.7 – Сортировочное устройство

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ

Лист

26

Принцип действия сортирующего устройства заключается в том, что если узел контроля обнаруживает повреждение на контролируемом прутке, подается сигнал на пневматические цилиндры 1 и они открывают сортировочный механизм 2 и повреждённый пруток попадает в лоток для бракованных изделий 3, после попадания прутка в лоток, клапаны возвращают сортировочный механизм в исходное положение. Если сигнала о повреждении не поступило, то открытие пневноцилиндров не происходит и пруток просто скатывается в лоток для целых изделий 4.

#### Выводы по разделу три

В данном разделе произведен выбор так элементов системы как вихретокогый датчик, датчик линейной скорости перемещения, асинхронный двигатель и частотный преобразователь для выбранного двигателя.

Вихретоковый датчик выбирался только из импортных производителей, потому что отечественные производители датчиков изготавливают их только по заказу и под конкретное изделие. В итоге выбран проходной датчик немецкой фирмы Foerster, который обладает хорошим диапазоном контролируемых изделий и относительно не высокой ценой. Так же произведен расчет выбранного датчика.

Для контроля скорости изделия выбран лазерный датчик линейной скорости ИСД-5. Датчик обладает хорошими техническими характеристиками, а так же в его комплект входит процессорный блок обработки сигнала с аналоговыми и цифровыми входами и выходами, что дает возможность передачи данных о скорости на ПЛК.

Выбраны асинхронные двигатели АРМ 42-8 мощностью 0,7 кВт, которые вращают рольганги, тем самым перемещают пруток, через датчик и маркировщик. Так же для двигателей выбраны преобразователи частоты такой же мощностью, которые имеют аналоговые и дискретные многофункциональные входы и выходы, с помощью которых частотный преобразователь будет подключаться к программируемому логическому контроллеру.

Разработано пневматическое устройство для подачи прутка в зону контроля.

Разработано сортировочное устройство для проверенного прутка, описан принцип действия этого устройства

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

## 4 РАЗРАБОТКА МАРКИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

### 4.1 Описание возможных конструкторских решений

Разрабатываемая система маркирования является частью автоматизированной установки контроля качества, и должна гарантировать точную маркировку дефектного места объекта контроля, с минимальными временными и денежными затратами.

Возможные конструктивные решения:

Конструктивное решение №1.

При выявлении дефекта контролируемого объекта на двигатель приходит сигнал включения, после этого двигатель раскручивает ролик или ролики (использование двух роликов дает возможность маркировать поврежденное место с двух сторон). На ролике (роликах) нанесено специальное покрытие с целью равномерного нанесения красящего вещества, которое поступает из дозирующей установки после поступления сигнала о наличии дефекта. Данное решение имеет существенные недостатки: сложная система маркировки, которая имеет значительные габариты; большие денежные затраты для осуществления; постоянное трение роликов о контролируемое изделие при выключенном двигателе, этот недостаток может вызвать дополнительный дефект на контролируемом проводе после проведения проверки; износ маркирующего ролика из-за сил трения.

Конструктивное решение №2.

Данное решение представляет из себя механическую систему маркирования. После обнаружения дефекта, поступает сигнал включения на электромагнит, примагничивающий крепление "качели", которые на себе удерживают маркер, предназначенный для отметки поврежденного места контролируемого изделия. Противовесом в данном конструктивном решении выступает пружина, которая предназначена для удержания крепления, когда отсутствует сигнал о поврежденном месте. Недостатком данного конструкторского решения является сложность его исполнения, но зато данный вариант является очень надежным и отличным вариантом в плане выполнения ремонта.

Конструктивное решение №3.

При выявлении дефекта, сигнал питания подается на насос, перекачивающий красящий элемент из бака в дозатор, который дозирует подаваемую краску, тем самым маркируя поврежденное место. Достоинством данного конструкторского решения является его простота, но это решение требует точного расположения дозатора, так как маркировка ведется точечным путем. Так же нелегкой задачей будет решение вопроса с управлением количеством подаваемой краски так, как дефекты бывает не только точечные, но и протяженные.

В дальнейшей разработке узла маркировки будет частично осуществляться конструкторское решение №2, считаю, что данное решение более легко в исполнении не требует использования двигателя или насоса, что существенно упрощает установку. Так же установка имеет преимущества над другими конструктивными

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

решениями, такие как незначительные габариты установки, простота обслуживания и ремонта.

#### 4.2 Обзор дозирующих устройств

Все дозирующие устройства образуют два больших класса прерывистого и непрерывного действия.

Первая группа дозирующих устройств предназначена для дозирования тех растворов, от которых непосредственно зависит точность и правильность работы какой-либо автоматической установки.

Вторая группа дозирующих устройств применяется для дозирования фона. Дозирования с помощью этих устройств выполняется с меньшей точностью и сами дозирующие устройства конструктивно могут быть упрощены по сравнению с устройствами прерывистого действия.

В нашем случае требуется точная маркировка поврежденного места объекта контроля, следовательно, в качестве дозирующего устройства будет использоваться дозирующее устройство прерывистого действия.

Сегодня наибольшее распространение получили такие дозирующие устройства прерывистого действия как: поршневые, переливные, контактные, отсечные, мембранные и дроссельные.

В ВКР будут рассмотрены такие дозирующие устройства, в которых к процессу дозирования можно применить высокую степень автоматизации.

1) Мембранные дозирующие устройства.

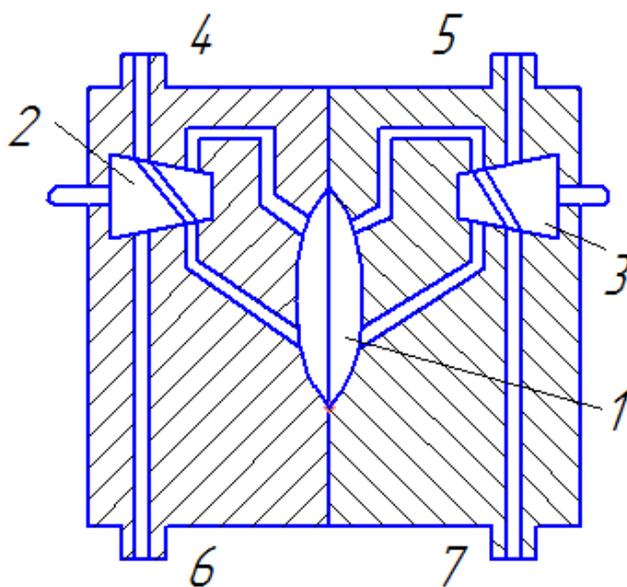


Рисунок 4.1- Мембранное дозирующее устройство.

Мембранное дозирующее устройство (Рисунок 4.1) представляет из себя устройство, в корпусе которого расположены два идентичных друг другу поворотных распределительных клапана 2 и 3, которые приводятся в действие синхронными двигателями. Оба клапана соединены системами каналов с левой и правой половинами чечевицеобразной погости, а также со входным 4 и 5 и сливными 6 и 7 штуцерами. Дозирующее устройство работает следующим образом, в положении распределительных клапанов, как изображено на рисунке 5.1, жидкое вещество под давлением поступает, через штуцер 4, в левую половину чечевицеобразной полости, при этом мембрана вытесняет раствор из правой половины чечевицеобразной полости через штуцер 7. После одновременного поворота распределительных клапанов на  $180^\circ$  жидкость поступает через штуцер 5 в правую половину чечевицеобразной полости, а мембрана выдавливает жидкость из левой полости через штуцер 6.

## 2) Дроссельные дозирующие устройства

Широкое применение среди дроссельных дозирующих устройств нашли дроссельные устройства со стабилизацией напора столба жидкости (Рисунок 4.2). Регулирование напора столба жидкости осуществляется с помощью использования поплавкового регулятора уровня или использования сосуда Мариотта.

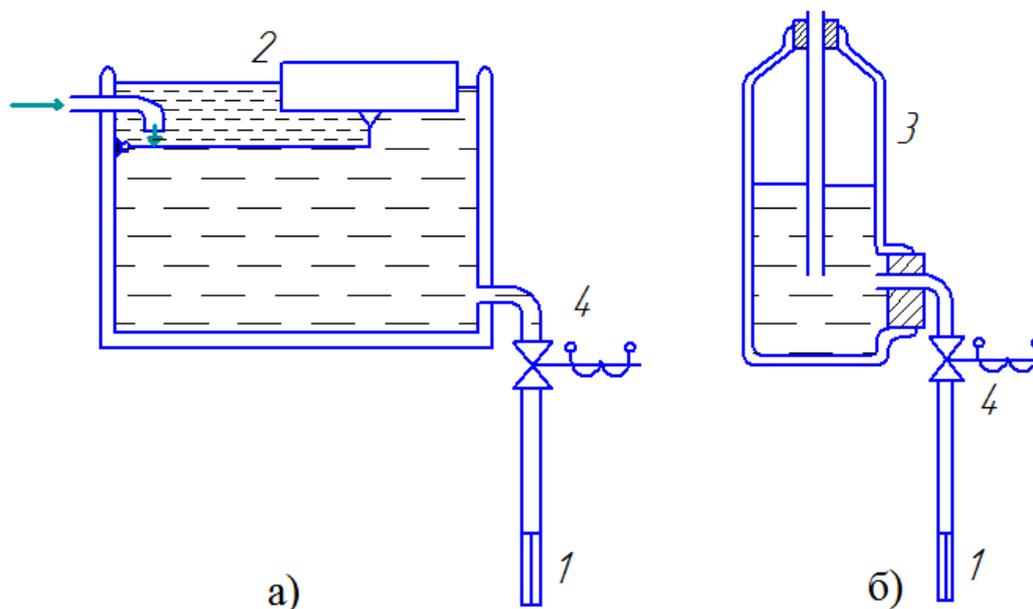


Рисунок 4.2 - Дроссельное дозирующее устройство со стабилизацией напора жидкости.

Важной частью дроссельного устройства является капилляр, который дросселирует поток жидкости. При условии, что напор столба жидкости будет постоянным, который поддерживается с помощью поплавкового регулятора или сосудом Мариотта, и неизменной вязкости жидкости, расход этой жидкости за время, будет постоянным. Недостатком данного устройства является его точность, по-

тому что вязкость жидкости, которая протекает через капилляр, меняется с температурой, следовательно, и понижается точность равная примерно 4-5%, но возможно повысить данного устройства при использовании термостата в капилляре, что требует дополнительным усилием и средств.

### 3) Двухканальное дозирующее устройство переливного типа

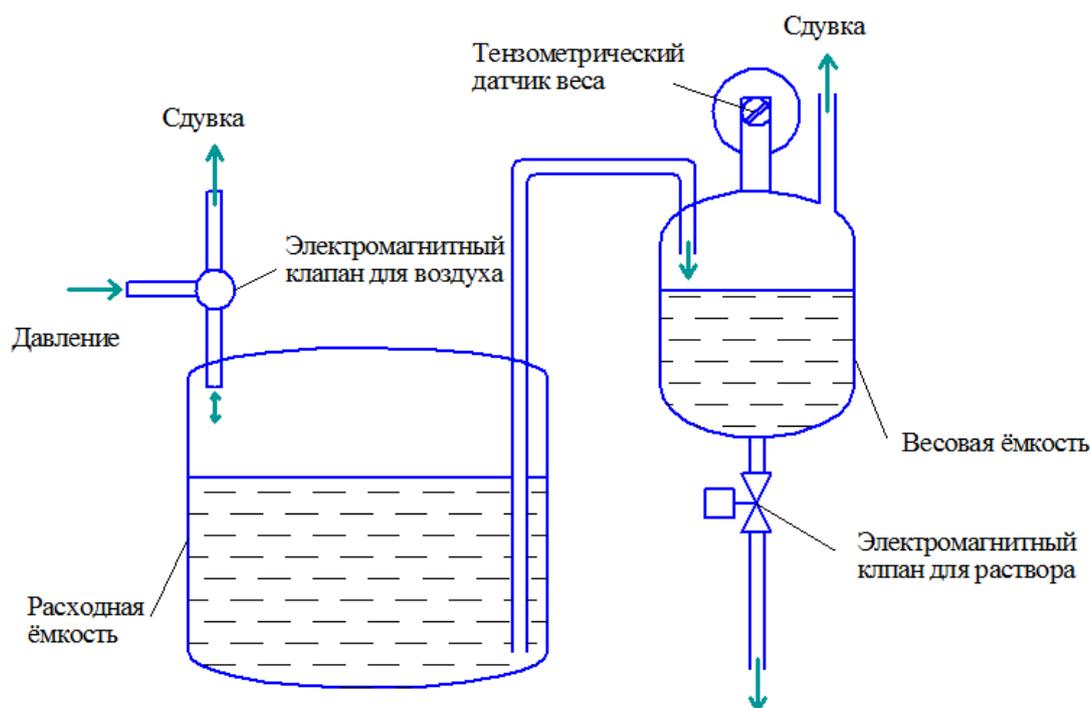


Рисунок 4.3 – Структурная схема дозирующего устройства переливного типа

Устройство данного типа состоит из двух идентичных емкостей. Структурная схема одного канала двухканального дозирующего устройства показана на рисунке 4.3.

Дозирующее устройство имеет в своем составе:

- расходную емкость;
- мерная емкость;
- тензометрический датчик для контроля веса жидкости;
- электромагнитный клапан подачи раствора;
- электромагнитный клапан подачи воздуха;
- линии для переливания жидкости и элементы монтажа;

Устройство осуществляет порционное дозирование жидкости из мерной емкости, подвешенной с помощью тяги на тензометрическом датчике. Линии для подачи раствора и воздуха, которые соединяют весовую емкость с монтажными компонентами, исполнены в виде спиралей и фактически никак не меняют на результаты измерений веса емкости. После измерения веса емкости по команде будет открываться электромагнитный клапан, который подает раствор, так же нужно задать величину расхода, т.е. количество подаваемой жидкости при поступле-

нии сигнала. После того как объем раствора в мерной емкости опустится ниже заданного предела, открывается электромагнитный клапан для воздуха, в расходной емкости создается высокое давление, и раствор из-за созданного давления начинает поступать в мерную емкость. Когда объем жидкости в весовой емкости доберется до установленного верхнего уровня, электромагнитный клапан для подачи воздуха отключится, после этого давление воздуха в расходной емкости сравняется со сдувкой и раствор прекращает переливаться в весовую емкость.

Недостатком данного дозатора является то, что в качестве чувствительного элемента используются тензометрические датчики, у которых очень большая чувствительность к вибрациям. Датчик будет применяться в производственном цеху т.е. там где большая вибрация, следовательно эти датчики будут давать большую погрешность и быстро выходят из строя. Поэтому этот вид дозирующего устройства не будет применяться в разрабатываемом маркирующем устройстве.

#### 4) Пневматический дозатор

Фирма Foerster использует для автоматической маркировки повреждений, обнаруженных каким-либо видом неразрушающего контроля, пневматический дозатор (краскоотметчик). Сначала, с помощью разрежения, которое создается регулятором, или каким-то иным методом наполняется расходная емкость. Контроль уровня заполняемости проводится с помощью дискретного уровнемера. Величина разрежения не должна превышать абсолютную величину давления, которое создается столбом чернил (краски) в гидрозатворе. Подача жидкости из расходной емкости в мерную емкость происходит при избыточном давлении в расходной емкости. Это давление должно быть больше по величине суммы давлений в двух емкостях принимающей измерительной и расходной емкости.

Принцип дозирования раствора заключается в поочередном приеме и подаче раствора измерительными емкостями. Поочередная подача раствора из мерной емкости происходит за счет того, что нарастает линейное давление в дозирующей емкости. Величина нарастания вычисляется системой управления исходя из таких параметров как, плотность раствора, заданный расход и площадь основания мерной емкости. Линейное изменение давления до нужной величины выполняется программируемым контроллером регуляторов автономно, только по первоначальной команде пульта оператора, которая определяет направление и конечное значение давления – разрежения. После окончания дозирования из очередной емкости давление в ней плавно снижается для того, чтобы были минимальные возмущения, вносимые в давление газовой фазы второй емкости.

Минусом этого дозатора является необходимость точно знать плотность используемого раствора, что является весьма трудоемким процессом. Данный дозатор одноканальный, следовательно он может маркировать повреждения только одним цветом. Если возникнет необходимость различать разнообразные типы повреждений, нужно будет использовать комбинацию из нескольких дозаторов и заправить их разноцветной краской, что ещё более усложнит конструкцию так как, каждый раз придется измерять плотность у нескольких красок. Данный дозатор имеет сложную конструкцию и высокую стоимость, так же данный дозатор

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

имеет не ремонтноспособную конструкцию, поэтому его применение, в случае поломки, экономически не эффективно.

### 4.3 Разработка маркера

Схема дозатора представлена на рисунке 4.4. За прототип данной конструкции был взят поршневой дозатор постоянного давления. Его недостатком его является непрерывность дозирования и необходимость регулирования постоянного давления в зависимости от плотности и расхода применяемых маркирующих чернил. В основе работы разработанного дозатора лежит закон Архимеда: объем вытесненной жидкости равен, равен объему тела, погруженного в жидкость. Количество вытесняемой жидкости меняется зависимости от скорости перемещения поршня. Поршень перемещается с помощью шагового двигателя (далее – ШД), который управляется с помощью программы, заданной в контроллере. Изменяя частоту вращения двигателя, меняется скорость перемещения поршня. Плюсом данного дозатора является то, что он прост в конструкции и имеет ремонтнопригодную модульную конструкцию.

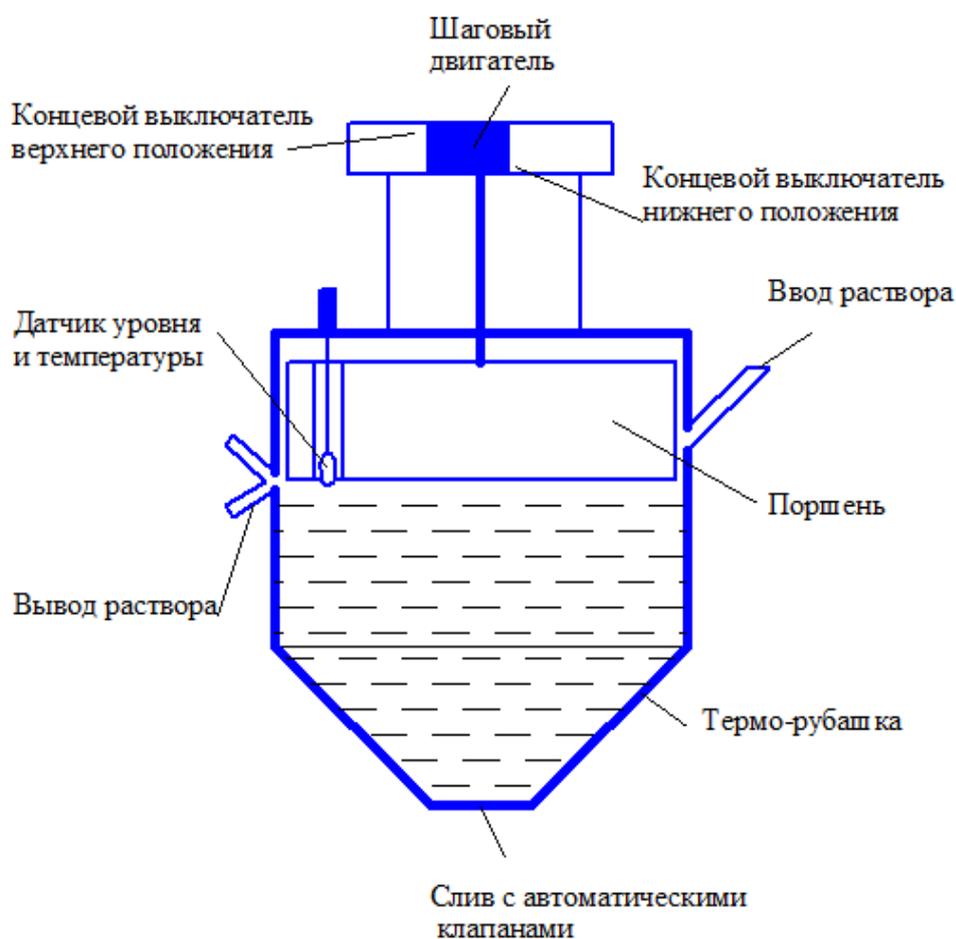


Рисунок 4.4 – Поршневой маркер-дозатор, основанный на законе Архимеда

Ход поршня ограничивают концевые выключатели верхнего и нижнего положения. При срабатывании концевых выключателей система управления создает команду остановки шагового двигателя.

#### 4.4 Автоматические клапаны для подачи красящего раствора

В полуавтоматических и автоматических дозирующих устройствах прерывистого действия все перепускные операции с веществами выполняются с применением автоматических клапанов различного вида, определяющие надежность работы всего дозирующего устройства. Автоматические клапаны должны иметь хорошую конструкцию, что бы обеспечить их длительную работу в условия технологической среды, так же клапаны должны обеспечить надежность запираения и быстродействие работы. Данным требованиям удовлетворяют два типа клапанов: электромагнитные и поворотные клапаны. Эти клапаны получили широкое распространение в различных автоматических и автоматизированных системах. Среди электромагнитных клапанов выделяют два вида конструкции — это конструкция с плоской запорной мембраной, которая прижимается к плоскости и конструкция, в которой используется пара поверхностей различной формы.

Принцип работы электромагнитного клапана с первым видом конструктивного исполнения показан на рисунке 4.5, а. В основании клапана имеются входной и выходной каналы, которые выходят во внутрь основания клапана под мембраной 2. Пружина 3 прижимает мембрану и сердечник 4 электромагнита 5 к основанию, тем самым закрывая оба либо один из каналов клапана. После включения электромагнита сердечник и мембрана поднимаются и клапан открывается. Клапан так же имеет подвижный стоп 6, который регулирует воздушный зазор электромагнита. Плюсом данной конструкции является высокая надежность при работе, так же эта конструкция клапана часто применяется в существующих автоматических и полуавтоматических дозаторах.

На рисунке 4.5, б изображен клапан с конусным плунжером и седлом. В данном клапане внутри плунжера стоит железный сердечник 2, благодаря которому электромагнит 3 поднимает плунжер 1, который открывает путь раствору через клапан. При выключенном магните плунжер под действием своего веса опускается на седло 4, закрывая клапан. Обычно запорные поверхности таких клапанов тщательно притирают. Надежность работы этих клапанов довольно низкая, поэтому они были вытеснены из мембранными клапанами и нашли применение лишь в полуавтоматических дозаторах.

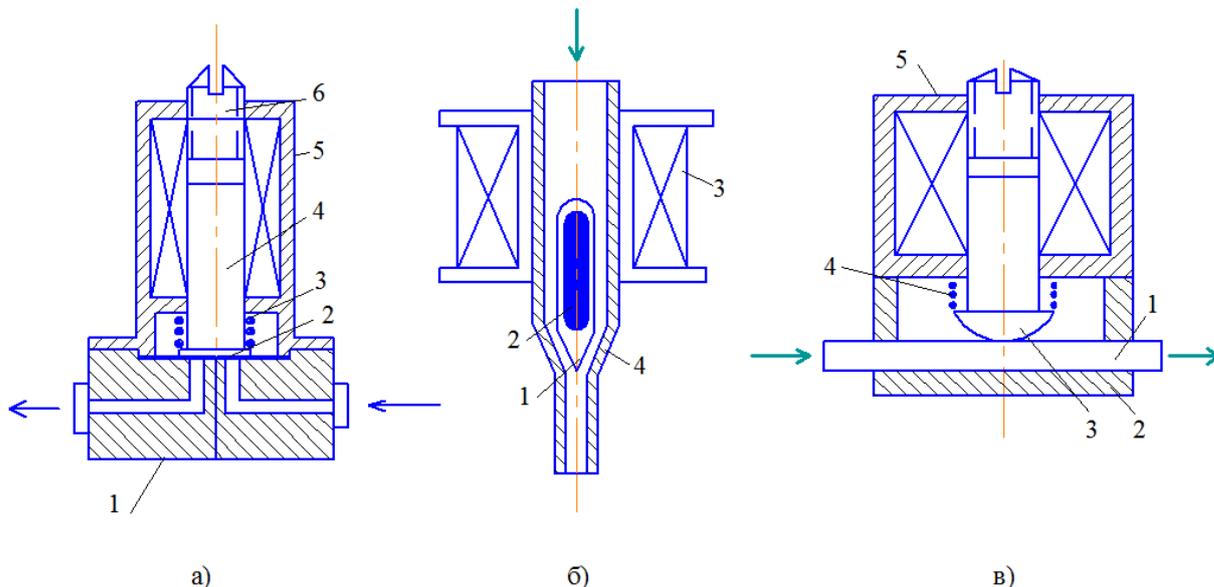


Рисунок 4.5 - Конструкции запорных клапанов

В полуавтоматических дозаторах иногда применяют и автоматические клапаны, работающие по принципу пережимания резиновой трубки. (Рисунок 4.5, в). Резиновая трубка прижимается к основанию 2 фигурной скобой 3 с помощью пружины 4. В этом положении клапан закрыт. При срабатывании электромагнита 5 трубка освобождается и благодаря упругости резины восстанавливает проходимость своего сечения — клапан открывается.

Достоинствами клапанов с пережимом трубкой является их простота. Однако из-за усталости резины необходимо периодически передвигать трубку вдоль своей оси, подставляя под зажимную скобу свежий участок трубки, либо заменять ее новой.

Поворотные переключающие клапаны, получившие наряду с электромагнитными мембранными клапанами широкое применение в автоматических маркерах-дозаторах, чаще всего изготавливаются двух видов: плоскоцилиндрические (Рис 4.6) и конусные (Рис.4.7).

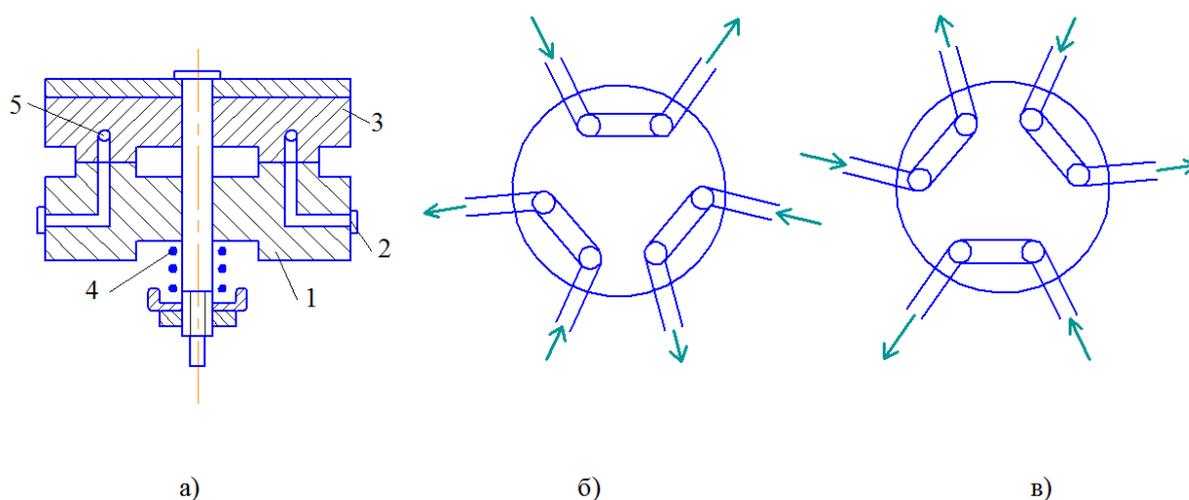


Рисунок 4.6 – Плоскоцилиндрический переключающий клапан

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Плоскоцилиндрический переключающий клапан состоит из неподвижного цилиндрического основания 1 с каналами 2, по которым подводится и уводится жидкость, и подвижного цилиндра 3, прижатого к торцу основания пружиной 4. В подвижном диске имеются переключающие каналы 5. Подвижной цилиндр вращается с помощью электродвигателя все время в одну сторону и при своем движении перекоммутирует направление потоков жидкости. Одностороннее вращение подвижной части клапана и высокая точность обработки соприкасающихся поверхностей обеспечивают высокую надежность работы клапана.

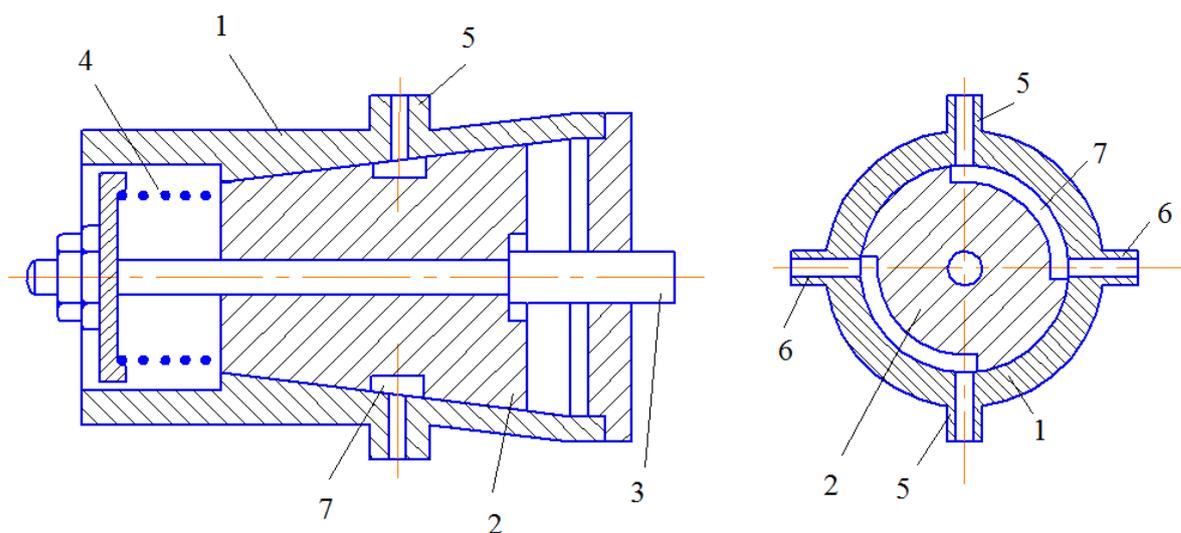


Рисунок 4.7 - Поворотно-переключающие клапана

На рисунке 4.7 показан конический переключающий клапан. Клапан имеет неподвижную коническую втулку 1 и вращающийся переключающий конус 2, плотно посаженный на вал 3. Конус прижат к втулке пружиной 4. Во втулке имеются штуцера по которым подводится жидкость, и штуцера 6, по которым она уводится, а в конусе — переключающие каналы 7. При вращении конуса происходит попеременное подключение входных штуцеров к тому или другому выходному штуцеру. В промежуточных положениях конуса поток жидкости через штуцера перекрывается.

Переключающие клапаны применяются в автоматических маркерах-дозаторах как прерывистого, так и непрерывного действия.

В разрабатываемой установке будет использоваться электромагнитный клапан, который показан на рисунке 4.5, а, так как конструктивно он является надежным и имеет несложную конструкцию. Клапан будет открываться одновременно с включением питания шагового двигателя, тем самым открывая путь для маркирующего вещества

#### 4.5 Информационная структура дозатора, как объекта управления

На рисунке 4.8 представлена информационная структура дозатора, как объект управления.

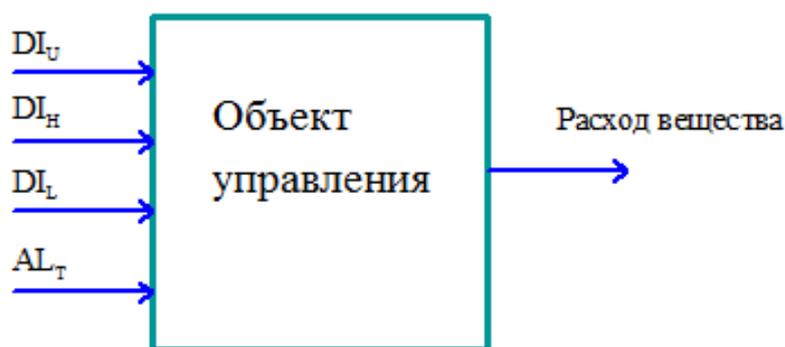


Рисунок 4.8– Схема объекта управления

Информационная структура объекта управления представляет из себя объект управления с входными и выходными характеристиками. На объект управления поступают три дискретных сигнала(сигнал который может принимать только два значения 0 или 1):  $DI_H$  – сигнал ограничителя верхнего положения хода поршня;  $DI_L$  – ограничитель нижнего положения хода поршня;  $DI_U$  – уровень вещества в дозаторе; также поступает один аналоговый сигнал:  $AL_T$  – температура вещества в дозаторе. Выходным сигналом будет расход маркирующих чернил.

#### 4.6 Функциональная схема узла маркировки

Для того, что бы поршень не заходил за верхние и нижние положения, в разработанном дозирующем устройстве, применяются концевые выключатели верхнего и нижнего положения, от которых будет поступать сигнал для остановки шагового двигателя. После сигнала с пульта управления, открывается запорный клапан, при помощи которого в дозатор будет подаваться маркирующее вещество. Уровень заполнения дозирующего устройства контролируется с помощью датчика уровня жидкости. Частотный генератор будет генерировать нужную частоту вращения шагового двигателя, частотным генератором управляет программируемый микроконтроллер.

На рисунке 4.9 представлена функциональная схема узла маркировки

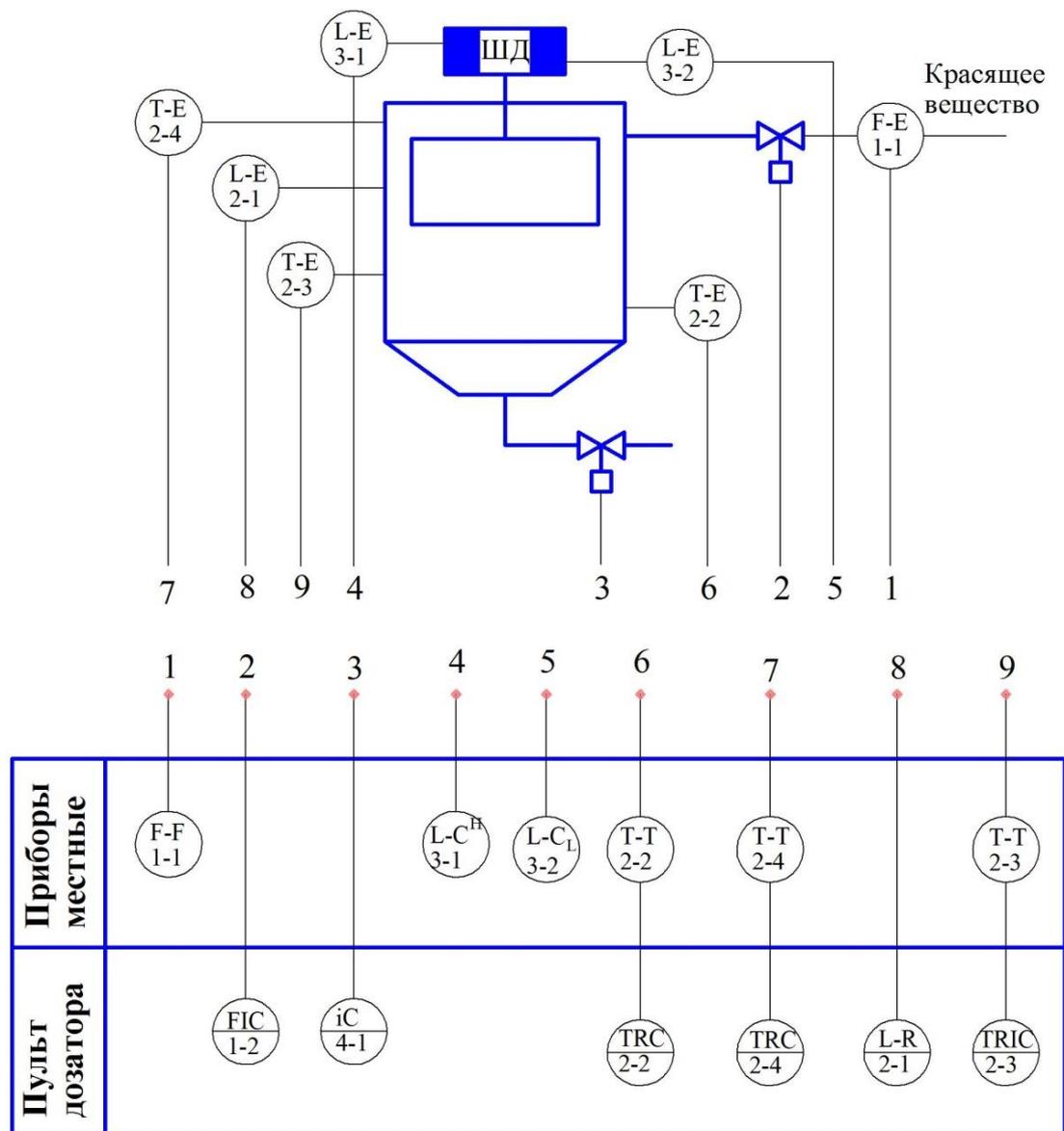


Рисунок 4.9 – Функциональная схема узла маркировки

#### 4.7 Система управления узлом маркировки

На рисунке 4.10 изображена блок-схема системы управления (СУ) маркирующим устройством.

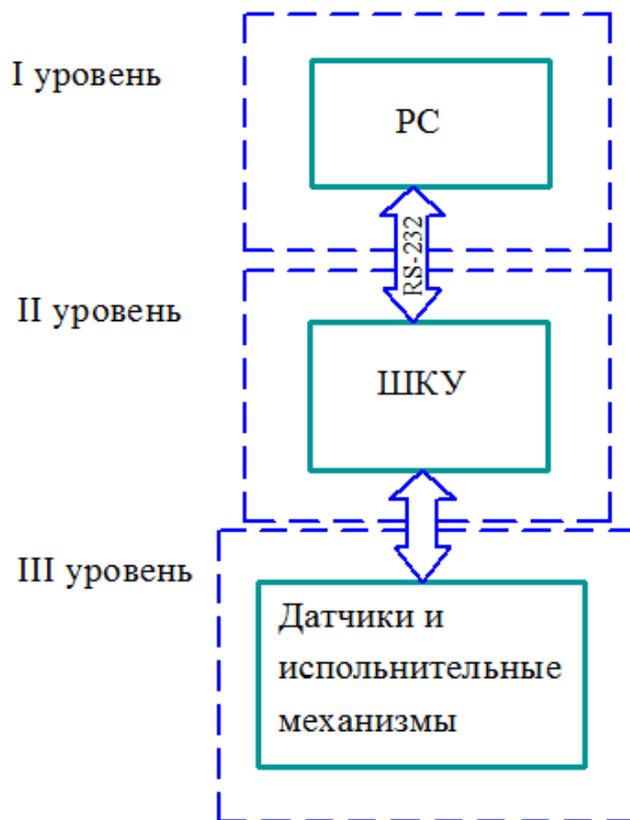


Рисунок 4.10 – Блок-схема системы управления

СУ складывается из трёх уровней управления:

– I уровень – это компьютер, который обрабатывает данные, поступившие со второго уровня. Оператор используя этот компьютер управляет процессом маркировки, вводит необходимые постоянные и переменные, задает нужные верхние и нижние границы. Помимо этого PC выполняет функцию архивирования данных, а также при аварии или нештатной ситуации он выводит соответствующие предупреждающие сигнальные сообщения;

– II уровень – это шкаф контроля управления (ШКУ). Он собирает информацию с датчиком и проводит первичную обработку сигналов с датчиков, и после этого передает информации на персональный компьютер. По сигналу от оператора, шкаф контроля управления передает сигналы на исполнительные механизмы;

– III уровень – это сами датчики и ИМ.

#### 4.8 Структурная схема маркирующего устройства

На рисунке 4.11 изображена структурная схема маркирующего устройства.

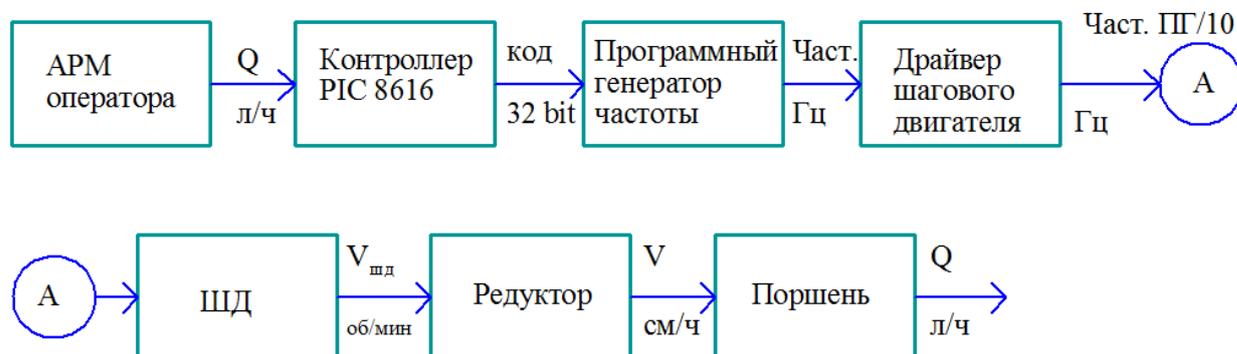


Рисунок 4.11 – Структурная схема маркирующего устройства

Структурная схема была разработана на основе системы управления маркирующим устройством разработанной в предыдущем пункте.

Оператор через персональный компьютер задаёт расход маркирующего вещества, затем контроллер заданный расход переводит в 32-битный код, который после контроллера идёт на генератор частоты. Управляющая программа частотного генератора, которая управляет шаговым двигателем, сделана в программном комплексе MPlab, на языке Assembler, поэтому и расход нужно перевести в программный 32-битный код. После перевода расхода в код, этот код подается на вход частотного генератора, который формирует частоту в зависимости от значения кода. Этот код принимает значения от 1 до 65535, минимальное значение кода соответствует наибольшей частоте, которая равна 35084 Гц. По формулам, представленным ниже, контроллер осуществляет перевод расхода в 32-битный код:

$$k = Q \cdot 650 \quad (5.1)$$

$$m = \frac{5k}{3} \quad (5.2)$$

$$n = \frac{1}{m} \quad (5.3)$$

$$x = \frac{n}{14,25} - 1 \quad (5.4)$$

где  $x$  – это полученный 32-битный код

На рисунке 4.12 представлена диаграмма зависимости кода от расхода.

### Зависимость кода от расхода

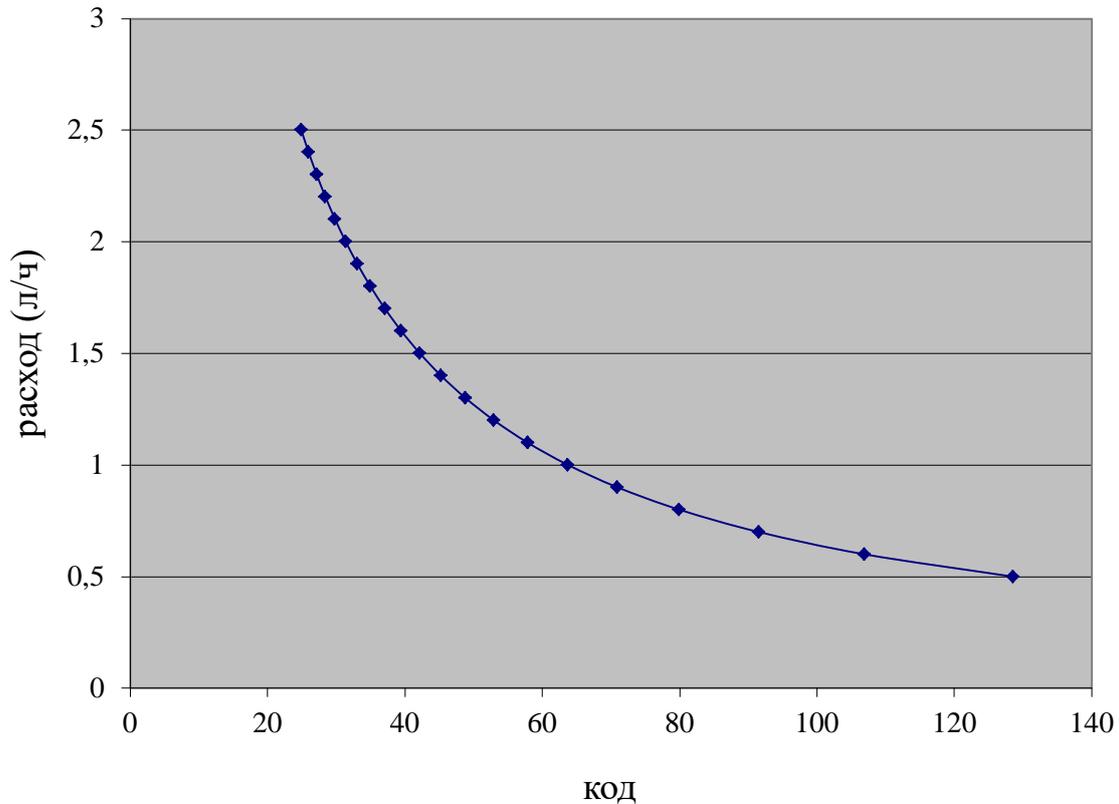


Рисунок 4.12 – Зависимость кода от расхода вещества

Генерируемая частота, подается на вход драйвера ШД. Драйвер выполняет деление входной частоты на 10, после этого полученная частота подается на шаговый двигатель, который связан с редуктором, перемещающим поршень маркирующего устройства. От скорости перемещения поршня зависит количество подаваемого вещества. Следовательно, управлять расходом вещества можно, меняя частоту шагового двигателя. Сложность управления заключается в том, что расход вещества, может не соответствовать частоте, которая задается целым числом, а подавать на генератор можно только целые числа. Поэтому управляющая программа вычисляет два соседних кода, которые соответствуют наибольшему и наименьшему расходу и поддерживает примерно одинаковое время сначала один расход, потом другой, что бы в среднем получился расход, который задал оператор. В соответствии со структурной схемой и математическим описанием, была собрана модель в приложении Simulink пакета MatLab 6.5 . Модель представлена в приложении № 1.

Данные о заданном и полученном расходе приведены в таблице 1

Из таблицы 6 видно, что полученная модель, имеет относительную погрешность, не превышающую 1%.



Зависимость относительной погрешности от расхода

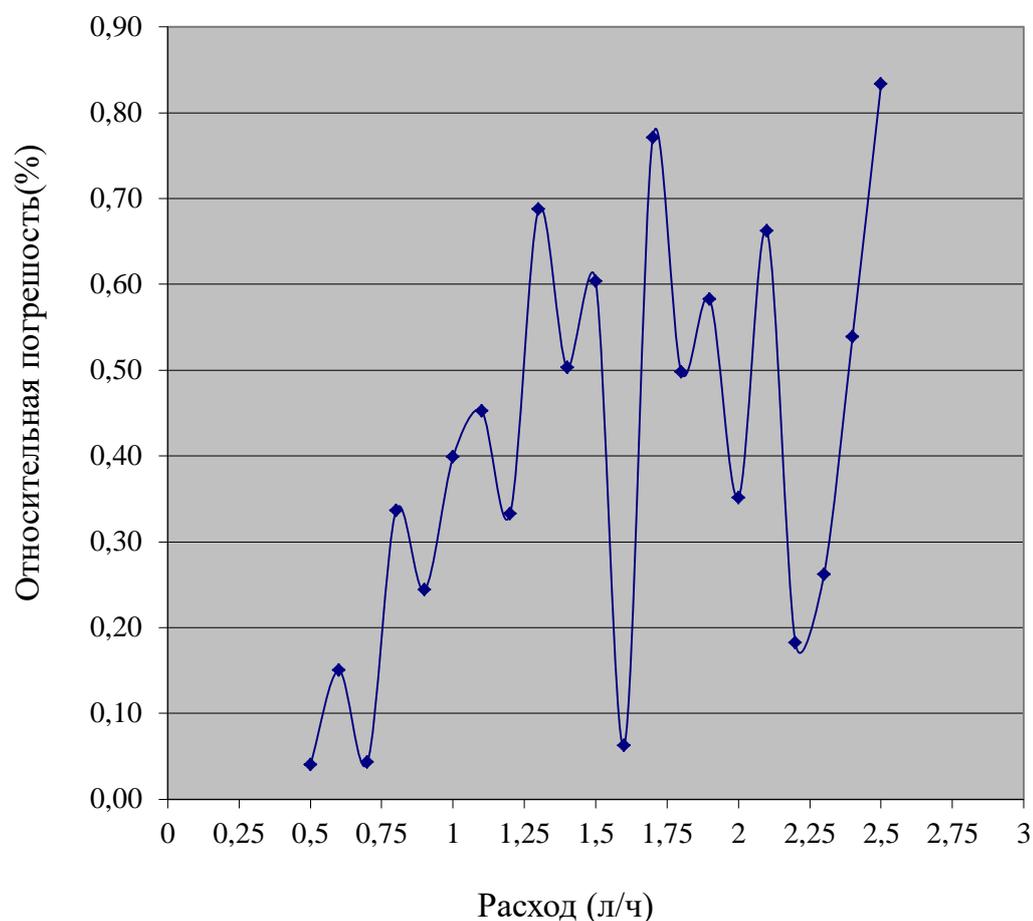


Рисунок 4.13 – Зависимость относительной погрешности от расхода

#### Выводы по разделу четыре

В данном разделе выбрано оптимальное конструкторское решение для маркирования повреждённого места изделия. Разработаны и выбраны такие элементы маркирующего устройства как дозатор красящего вещества и автоматические клапаны для подачи этого вещества из дозатора. Разработана информационная, структурная и функциональная схема узла маркировки. Решен вопрос с расходом маркирующего вещества, так же он переведен из литров в программный код.

## 5 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ МАРКИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

### 5.1 Выбор шагового двигателя маркера

На основе алгоритма управления и функциональной схемы были выбраны исполнительные элементы. В качестве основного привода был выбран двухфазный шаговый двигатель (ШД) FL86STH65–2808A, который производится НПО «Атом».

Шаговые электродвигатели (ШД) используются в роли исполнительных элементов в системах с дискретным приводом. Частота вращения и суммарный угол поворота вала ШД пропорциональны соответственно частоте и числу поданных импульсов управления. При отсутствии управляющих импульсов ШД находится в режиме фиксированной стоянки и сохраняет конечные результаты предыдущих перемещений. Привод с ШД сочетает возможности глубокого регулирования частоты вращения с возможностью числового задания и надежной фиксации конечных координат.

Питание шаговых двигателей осуществляют специальные блоки управления, обеспечивающие преобразование унитарной последовательности импульсов в  $m$ -разную систему напряжений, питающих обмотки ШД через усилители мощности. Параметры блока управления определяются числом и порядком коммутации обмоток ШД. Технический уровень блока управления определяется в основном примененной в них элементной базой.

Напряжение питания шагового электродвигателя задается на входе блока управления (драйвера шагового двигателя), но минимальный момент ШД составляет обычно  $(0,4 \div 0,5)M_{ст\ max}$ . Номинальный момент инерции нагрузки выбирается обычно в пределах  $J_n = (1 \div 2)J_p$ . Такое соотношение моментов инерции нагрузки и ротора позволяет наиболее полно использовать динамические качества ШД и обеспечить устойчивость его работы. Разрешающая способность ШД по углу определяется статической и динамической погрешностями, которые характеризуют точность отработки шага. Основными характеристиками шагового двигателя являются предельная динамическая и механическая характеристики.

Выбранный шаговый двигатель обладает техническими характеристиками представленными в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики ШД

Модель	I /фаза, А	Крутящий момент, кг*см	Момент инерции ротора $\Gamma$ *см <sup>2</sup>	R/фаза, Ом	L /фаза, мГн	Вес, кг
Значение	2,8	34	1000	1,4	3,9	1,7

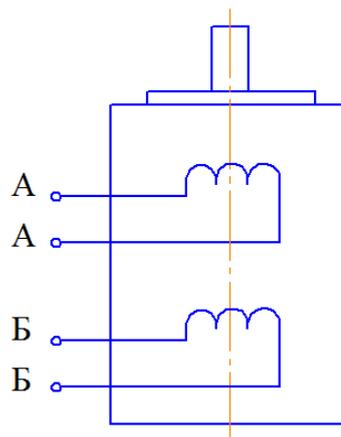


Рисунок 5.1 – Электрическая схема подключения шагового двигателя  
FL86STH65-2808А

ШД данной серии имеют основной угловой шаг  $1,8^\circ$ , частоту приемистости до 2000 Гц и скорость вращения вала до 1500 об/мин. Так же к двигателям этой серии идет устройство управления. В качестве устройства управления был выбран программируемый блок управления ШД SMSD-3.0. Он предназначен для управления работой четырехфазных, либо двухфазных ШД с током фазы 3 А. Блок объединяет в себе управляющий микропроцессор и высококачественный драйвер ШД. Управление осуществляется по заданной программе, в ручном режиме или в режиме драйвера. Блок SMSD может работать в режиме целого шага или осуществлять дробление на  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  и  $1/32$ , блок может задавать направление, скорость, ускорение движения, а также работать по сложным алгоритмам, записываемым в энергонезависимую память. Блок работает автономно, от компьютера (LPT или COM-порт) или от внешнего задающего контроллера. Блок имеет возможность получать сигналы от внешних устройств и датчиков, а также подавать сигналы внешним устройствам. Блок имеет радиатор и не требует дополнительного охлаждения. Этот блок имеет одну особенность – он уменьшает входную частоту в 10 раз.

Основные характеристики блока SMSD-3.0 представлены в таблице 9.

Таблица 9

Модель	Максимальный $I_{\text{ВЫХ}}, \text{А}$	$U_{\text{ПИТ}}, \text{В}$	Диапазон частот, Гц	Точность установки скорости
SMSD-3.0	3	18-20	1-10000	Не ниже 0,2%

В качестве привода, который будет двигать поршень дозирующего устройства, выбран электромеханизм МП-100М с ходом штока  $80 \pm 1,5$  мм. Нагрузка на шток: номинальная – 980 Н (100 кгс), максимальная – 1470 Н (150 кгс).

Так как рассмотренные частотные генераторы не позволяют работать в

частотах от 200 Гц до 25000 Гц с возможностью подстройки частоты в 1 Гц, то генерация частоты будет производиться от программного генератора. Генератор написан в программном пакете MPLAB IDE v 8.10, на языке ассемблер.

Данный генератор генерирует частоту в зависимости от полученного кода, код задается с контроллера, код – это значение от 1 до 65535 (32 бита). Частота поступает на блок управления ШД, он делит ее на 10 и полученную частоту отправляет на ШД. В зависимости от поданного кода мы меняем скорость вращения двигателя и, следовательно, меняем расход технологического раствора.

## 5.2 Выбор и расчет электромагнита

Далее в выборе элементов конструкции узла маркировки идет выбор электромагнита.

Расчеты для выбора электромагнита

### 1. Расчетное усиление электромагнита

Для подбора данного элемента нужно знать вес крепления «Качели», которая будет подниматься электромагнитом и усилие сопротивления пружины, которая удерживает крепление. Так как эти значения точно не известны, примем необходимое усилие равным 70 Н, а во избежание ошибок расчетное усилие электромагнита будет равно 90 Н.

$$Q_p = 1,1Q \quad (5.1)$$

где  $Q = 90$  Н – усилие одного электромагнита;

$$Q_p = 1,1 \cdot 90 = 99$$

### 2. Напряжение сети питания катушки электромагнита

$$U = 220 \text{ В}$$

3. Определяем расчетное эффективное напряжение сети, при котором должно быть обеспечено расчетное усилие электромагнита по формуле:

$$U_p = K_H \cdot U, \text{ [В]}, \quad (5.2)$$

где  $K_H = 0,9$  – коэффициент, учитывающий возможное изменение напряжения сети;

$$U_p = 0,9 \cdot 220 = 198 \text{ В}$$

4. Амплитуда колебаний в направлении установки электромагнита равна:

$$A = 3 \text{ мм}$$

5. Найдем конструктивный фактор электромагнита по формуле:

$$K_\phi = \frac{\sqrt{2Q_p}}{0,1 \cdot S_\mu}, \quad (5.3)$$

где  $S_\mu = A + 0,1 = 3,1$  мм

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

6. Максимальное значение индукции  $B_T$  (Вб/см<sup>2</sup>) определяется в зависимости от значения конструктивного фактора  $K_\phi$  по графику (Рисунок 5.2);

$$B_T = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ Вб/см}^2$$

**График выбора значения максимальной индукции магнитопровода (сердечника) электромагнита в зависимости от значения конструктивного фактора**

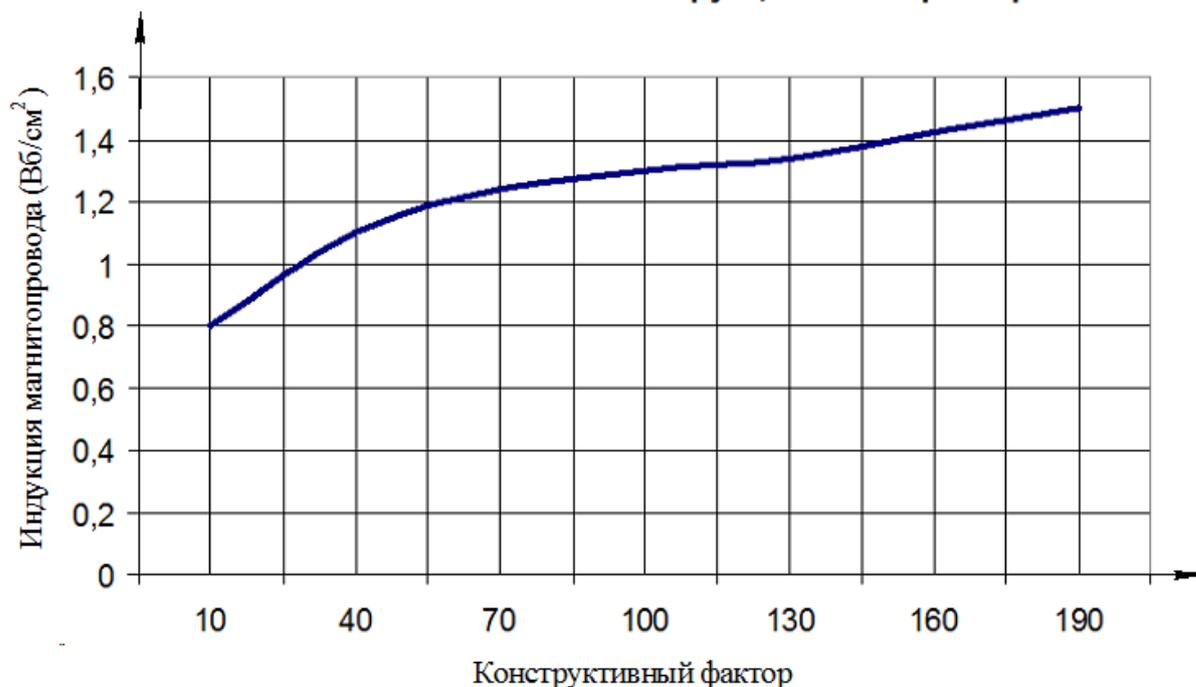


Рисунок 5.2 – График зависимости индукции от конструктивного фактора

В таблице 10 приведены электромагниты с их техническими характеристиками и габаритами.

Таблица 10 - Характеристики электромагнитов

№	Модель электромагнита	Характеристики	Размеры
1	2	3	4
1	Электромагнит КВМ 36	Масса 0,75кг Потребляемая мощность 34Вт Номинальное тяговое усилие 80Н Напряжения питания 12,5 В Задержка включения 0,04с	77x80x36

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4
2	Электромагнит ПЗ-10	Масса 1кг Потребляемая мощность 35Вт Номинальное тяговое усилие 90Н Напряжение питания 220 В Задержка включения 0,02с	108x102x80
3	Электромагнит КВМ 36	Масса 0,5кг Потребляемая мощность 34Вт Номинальное тяговое усилие 70Н Напряжение питания 110В Задержка включения 0,03с	80x82x35
4	Электромагнит ЭМПУ 45.1	Масса 0,85кг Потребляемая мощность 35Вт Номинальное тяговое усилие 80Н Напряжения питания 12,5 В Задержка включения 0,05с	73x150x45

Из приведенной таблицы видно, что подходит только электромагнит под номером 2, только у него тяговое усилие, важнейший показатель при выборе электромагнита, удовлетворяет искомое значение. Недостатком данного магнита является его большие габариты и вес, по сравнению с другими электромагнитами, но данные недостатки компенсируются тем, что напряжение питания данного магнита 220 В т.е. его можно напрямую подключить в сеть без использования дополнительных устройств. Достоинством данного магнита является его время срабатывания, что важно для маркирования поврежденного места.

Для корректного расчета пружины необходимо задать силу, которая будет воздействовать на нее, в нашем случае пружина будет растягиваться при воздействии на нее силы в 90 Н (данное усилие соответствует силе электромагнита, выбранного в предыдущей части работы).

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ

Сила пружины при рабочей деформации:  $F_1 = 90$  Н  
Рассчитываем силу пружины при максимальной деформации:

$$F_2 = \frac{F_1}{1-X}, \quad (5.4)$$

где  $X$  - относительный инерционный зазор пружины (для пружин растяжения составляет 0,25).

$$F_2 = \frac{90}{1 - 0,25} = 120 \text{ Н}$$

Найдем силу предварительного напряжения:

$$F_0 = X \cdot 120 = 30 \text{ Н}$$

В соответствии с предварительным расчетом пружины выбираем по ГОСТ 13764 - 86, соответствующие значения пружины: диаметр проволоки  $d = 3$  мм; средний диаметр пружины  $D = 14$  мм; жесткость одного витка  $c = 90,83$  Н/мм; максимальная деформация пружины  $s = 5$  мм.

Находим общую жесткость пружины:

$$C_1 = \frac{F_2 - F_0}{s} \quad (5.5)$$

$$C_1 = 18 \text{ Н/мм}$$

Рассчитываем рабочее число витков:

$$n = \frac{c_1}{c} \quad (5.6)$$

$$n = \frac{90,830}{18} = 5$$

Находим общее количество витков пружины по формуле:

$$N = n + n_1, \quad (5.7)$$

где  $n_1$  - опорные витки, для пружины растяжения, с  $d = 2$  мм, составляет 2.

$$N = 5 + 2 = 7$$

Находим длину пружины растяжения без зацепов в спокойном состоянии:

$$l = (n_1 + 1)d. \quad (5.8)$$

$$l = (7 + 1) \cdot 2 = 16$$

В соответствии с полученными данными расчета выбираем пружину по ГОСТ 13766 - 86, под номером 372.

Выводы по разделу пять

В данном разделе выбрали элементарную базу маркирующего устройства, выбрали шаговый двигатель и блок управления ШД, так же выбрали и рассчитали электромагнит под нужное тяговое усилие

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

## 6 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Структурная схема электронного блока приведена на рисунке 6.1.

По сигналу центрального процессора (ЦП) генератор формирует синусоидальное напряжение, подающееся на возбуждающую обмотку вихретокового датчика. В связи с воздействием электромагнитного поля вихревых токов, которые наводятся в металле, в измерительной обмотке вихретокового датчика возникает ЭДС, параметры которой характеризуют состояние проверяемого изделия. Выходное напряжение вихретокового преобразователя, после предварительного усиления, проходит через детектор и идёт на вход усилителя, коэффициент усиления которого задается ЦП. Частотным фильтром электрический сигнал, усиленный усилителем, фильтруется и поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). С выхода аналого-цифрового преобразователя цифровой сигнал поступает на центральный процессор для дальнейшей обработки и отображения на дисплее.

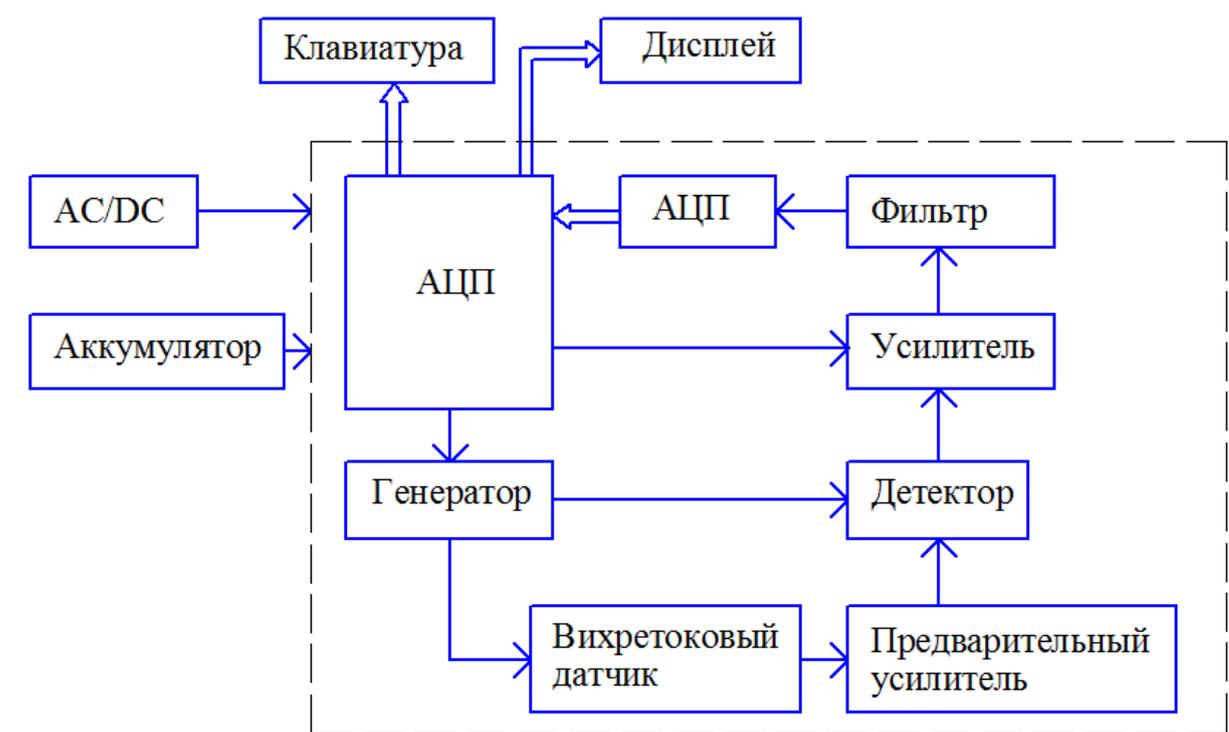


Рисунок 6.1 Структурная схема электронного блока

Разрабатываемая электрическая схема условно разбита на блоки:

1. Плата счета А1;
2. Плата управления А2;
3. Плата индикации А3;
4. Плата коммутации и отображения информации.

## Плата счета А1

Плата счета А1 построена на базе операционного дифференциального усилителя К544УД1 с высоким входным сопротивлением и низким уровнем входных токов, с внутренней частотной коррекцией, которая обеспечивает стабильную работу при разных режимах отрицательной обратной связи, в то числе режимы интеграторов и повторителей напряжения. Небольшие значения шумового тока и неплохие спектральные характеристики напряжения шума, высокие динамические характеристики, предоставляют ряд плюсов при применении их в качестве схем выборки и хранения.

Так же в плате используется два компаратора на микросхеме К521 СА3. Преобразование информации из аналоговой формы в цифровую и обратно (связь между аналоговой частью системы и обратно), обеспечивается с помощью цифро-аналоговых (ЦАП) и аналого-цифровых преобразователей (АЦП). При аналого-цифровом преобразовании важную роль выполняют компараторы. Компаратор - это устройство, которое сравнивает непрерывно изменяющийся входной аналоговый сигнал с опорным напряжением. При этом если входной сигнал больше (на доли милливольт) опорного, то на выходе компаратора устанавливается напряжение «логический ноль» (лог. 0) или если входной сигнал меньше опорного, то устанавливается напряжение «логическая единица» (лог. 1).

Так же в плате счета применяется микросхема 176ИЕ4 (Рис.6.2), представляющая из себя двоичный счетчик по модулю 10 с дешифратором в 7-сегментный код. Исходное состояние схемы устанавливается подачей сигнала Н на вход С1 (5). Входная частота подается на вход Сk (4), а выходная частота (в 10 раз меньше) появляется на выводе Y10 (2). После каждого второго входного импульса на выводе Y4 (3) формируется сигнал, который используется для выработки команды сброс в разрядах индикатора "Часы". Если же используются жидкокристаллические индикаторы, в схеме предусмотрено получение на выходе прямого и инверсного кода (относительно входа Сk) путем подачи на вывод 6 (М) сигнала с частотой 32 или 64 Гц. При применении индикаторов, не требующих знакопеременного питающего напряжения, на вывод М подается постоянное напряжение L

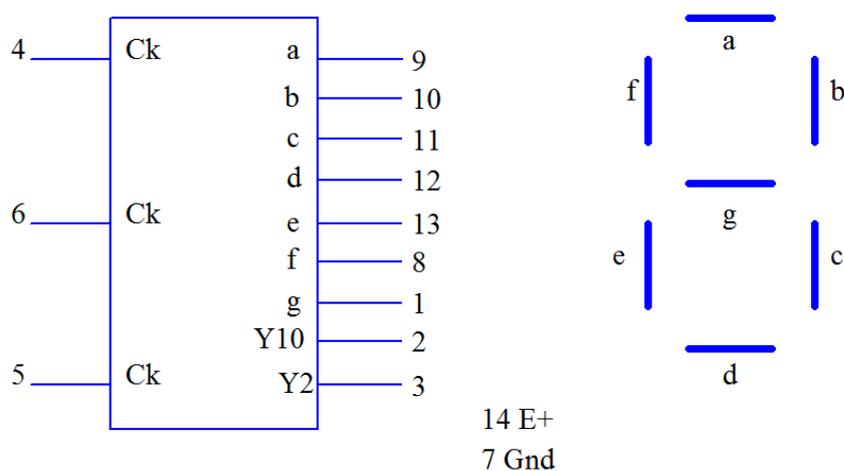


Рисунок 6.2 - Микросхема 176ИЕ4

### Плата управления А2

Эта плата построена на следующих основных элементах:

Р1С16F628 А однокристалльный 8-разрядный FLASH CMOS микроконтроллер компании Microchip Technology Incorporated. Микроконтроллеры семейства Р1С16/17 используют RISC структуру процессорного ядра. Так же микроконтроллеры Р1С16/17 имеют расширенные возможности ядра, стек глубиной восемь уровней и множество внутренних и внешних прерываний. Гарвардская архитектура с отдельными шинами команд и данных позволяет одновременно передавать 14 разрядные команды и 8 разрядные данные.. Высокая эффективность достигается с помощью применения новшеств архитектуры и большого набора дополнительных регистров. Микроконтроллеры семейства Р1С16 по сравнению с другими 8 разрядными микроконтроллерами такого же класса позволяют уменьшить программу в два раза и увеличить быстродействие примерно в четыре.

Две логические микросхемы К561ЛА7 которые в своем составе имеют 4 элемента 2И-НЕ.

Две логические микросхемы К561ЛН2 которые в своем составе имеют 6 элементов НЕ. Узел триггера собран по классической схеме на логической микросхеме DDI К561ТМ2.

Микросхема Р142ЕН5А трехвыводный стабилизатор с фиксированным выходным напряжением 5 вольт могут найти применение в широком спектре радиоэлектронных устройств в качестве источников питания логических систем, измерительной технике. Компоненты могут быть использованы для ускорения переходных процессов. Входной конденсатор необходим только в том случае, если регулятор находится на расстоянии более 5 см от фильтрующего конденсатора источника питания.

### Плата индикации А3

Платы индикации построена на семи сегментном цифровом индикаторе АЛС333А, который отображает информацию сформированную платой счета А1.

### Плата коммутации и отображения информации

Эта плата осуществляет подсоединение элементов системы контроля к блоку контроля с помощью розеток, гнезд, клемм. Кроме того при наличии дефекта контролируемого изделия подается световой и звуковой сигналы оператору. Звуковой сигнал производится генератором звука SCO715BLLF SONITRON. Световой сигнал подается с помощью светодиодного индикатора АЛ307Б.на лицевой панели блока контроля.

### Выводы по разделу шесть

В данном разделе разработана электрическая схема системы контроля, сама электрическая схема разбита на субблоки: плата счета, плата управления, плата индикации и плата коммутации и отображения информации. Для всех плат выбраны внутренние элементы (микросхемы, усилители, микроконтроллеры, индикаторы, генераторы звука и т.д.), так же связи между ними.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

## 7 ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

### 7.1 Программируемый логический контроллер «Каскад»

Программируемый логический контроллер «Каскад» – промышленный программируемый контроллер, предназначен для работы в системах автоматизированного управления производственными технологическими процессами [30].

КУ «Каскад» имеет открытую модульную архитектуру построения. Это позволяет наращивать и конфигурировать контроллер для решения конкретных задач. Для связи и обмена данными КУ «Каскад» с персональным компьютером используется стандартный протокол связи MODBUS.

Состав и технические характеристики

КУ «Каскад» объединяет в своем составе следующие модули (рис. 7.1):

- микропроцессорный модуль;
- базовый модуль;
- модуль преобразования напряжения;
- модули ввода-вывода.

Модульный принцип построения позволяет осуществлять наращивание и конфигурирование контроллера «Каскад» для решения конкретной задачи.

Контроллер «Каскад» включает в себя:

- базовый блок, в состав которого входят базовый модуль, и устанавливаемые в плату базового модуля микропроцессорный модуль, модуль преобразования напряжения, и один из модулей ввода-вывода;
- блок расширения, в состав которого входят базовый модуль, и устанавливаемые в плату базового модуля три модуля ввода-вывода.

Для базового блока и блока расширения используются одинаковые корпуса.

Основу контроллера составляет базовый блок, в котором установлен микропроцессорный модуль. Этот блок обеспечивает реализацию программ управления, обмен данными между блоками. К одному базовому блоку допускается подключать до четырех блоков расширения.



Рисунок 7.1 – Состав контроллер универсального «Каскад»

Технические характеристики модулей входящих в состав КУ «Каскад» приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристика модулей КУ «Каскад»

Модуль	Характеристики	
	Параметры	Значение
1	2	3
1 Базовый модуль	Число мест для установки сменных модулей ввода- вывода (слотов) Тип микроконтроллера Внутренний интерфейс (шина данных) Разъемы для подключения внешних цепей Рабочее напряжение, не более Потребляемая мощность, не более	3  PIC16F874A SPI (ведомый) 16 контактов на слот 5 В 300 мВт
2 Микропроцессорный модуль	Тип микроконтроллера Тактовая частота Память EEPROM Интерфейс для связи с внешним компьютером Внутренний интерфейс (шина данных) Рабочее напряжение, не более Ток питания, не более	PIC16F874A 20 МГц 256 Килобайт RS232 SPI (мастер) Разъем RJ45 5 В 200 мА
3 Модуль дискретных входов	Число входных дискретных каналов Ток на входе, не более Напряжение на входе Время включения, не менее Задержка выключения, не менее Напряжение гальванического разделения между группами каналов, между каналами и корпусом, не менее Сопротивление изоляции между группами каналов и корпусом, не менее Элементы на передней панели Напряжение питания, не более Потребляемый ток, не более	8 5 мА 24В(-15%/+20%) ~2 мс ~2 мс 500 В 20 МОм 8 светодиодов 5 В 200 мА

Продолжение таблицы 10

1	2	3
4 Модуль дискретных выходов	<p>Число выходных дискретных каналов</p> <p>Сопrotивление подключаемой нагрузки, не более</p> <p>Выходное напряжения</p> <p>Время включения (активная нагрузка)</p> <p>Задержка времени выключения (активная нагрузка)</p> <p>Выход в состоянии ON: в системе фиксируется «0»</p> <p>Выход в состоянии OFF: в системе фиксируется «1»</p> <p>Каналы после сброса: OFF</p> <p>Напряжение гальванического разделения между группами каналов, между каналами и корпусом, не менее</p> <p>Сопrotивление изоляции между группами каналов и корпусом, не менее</p> <p>Элементы на передней панели</p> <p>Напряжение питания, не более</p> <p>Потребляемая мощность, не более</p>	<p>8</p> <p>200 Ом</p> <p>48 В(-15%;+20%)</p> <p>3 мкс (при 24 В)</p> <p>130 мкс(при 24 В)</p> <p>500 В</p> <p>20 Мом</p> <p>8 светодиодов</p> <p>5 В</p> <p>300 мВт</p>
5 Модуль преобразования напряжения	<p>Напряжение на входе</p> <p>Напряжение на выходе</p> <p>Потребляемая мощность</p> <p>Сопrotивление изоляции между входными цепями и корпусом, между выходными цепями и корпусом, не менее</p>	<p>48В (-15%;+20 %)</p> <p>24В (-15%;+20 %)</p> <p>12 Вт</p> <p>20 МОм</p>
6 Корпус	<p>Степень защиты корпуса</p> <p>Габаритные размеры устройства</p> <p>Масса, не более</p>	<p>IP20</p> <p>110x116x85 мм</p> <p>0,7 кг</p>
7 Программное обеспечение	Microchip Inc.	

Обмен данными внутри контроллера выполняется по шине SPI по технологии «главный/подчиненный». Главным является микроконтроллер, установленный на плате микропроцессорного модуля, подчиненные на платах базовых модулей. «Подчиненные» микроконтроллеры обеспечивают передачу управляющих сигналов для модулей дискретных выходов, прием данных от модулей дискрет-

ных и аналоговых входов. Инициировать передачу данных может только главное устройство.

## 7.2. Программа управления маркирующего устройства

На основе алгоритма управления и с учетом выбранной элементной базы была написана программа управления дозатора технологического раствора. Программа написана в программном комплексе CoDeSys v2.3., представлены в приложении №3.

Данная программа должна генерировать код на устройство управления ШД, в зависимости от расхода заданного оператором.

Компиляция и сборка исходного текста программы осуществляется с помощью среды разработки «CoDeSys v.2.3», функционирующей под операционной системой «Windows 2k/XP/2k3». Программирование микроконтроллера осуществляется из среды «CoDeSys v.2.3» через программатор, подключенный к персональному компьютеру, с интерфейсом «JTAG».

Для проведения настроек, управления, отладки и тестирования используется программа «CoDeSys v.2.3», функционирующая под операционной системой «Windows 2k/XP/2k3». В настройках проекта программы «CoDeSys v.2.3».

После запуска программного обеспечения дозатора необходимо записать в контроллер параметры настройки дозатора, доступные по протоколу «ModBus» с помощью «CoDeSys v.2.3». Настройки должны быть рассчитаны в соответствии с параметрами подключенного к устройству шагового двигателя.

Управляющая программа дозатора решает следующие задачи:

- обеспечение заданного расхода маркировочных чернил;
- осуществлять защиту от противоречивых команд;
- реализация алгоритмов управления дозирующими устройствами в автоматическом и ручном режиме;
- выполнять контроль температуры маркировочных чернил и отключать дозаторы при аварийной ситуации.

Поставленные задачи выполнены с использованием следующих решений:

- концевые датчики, необходимые для ограничения хода поршня, датчики температуры маркировочных чернил;
- использование режима реального времени - управляющая программа запускается с постоянным периодом;
- формирование управляющих сигналов для шаговых двигателей и клапанов подачи маркирующих чернил.

## Выводы по разделу семь

В данном разделе был выбран ПЛК в его роли будет выступать контроллер «Каскад», рассмотрены основные модули данного контроллер и характеристики этих модулей. Написана управляющая программа, установлены задачи решаемые данной управляющей программой.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

## 8 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ

### 8.1 Точностной расчет узла контроля

Точностной расчет разрабатываемой установки основан на определении вероятных погрешностей при обнаружении повреждений.

Рассмотрим каждое повреждение в отдельности:  $L + \Delta L$  – расстояние между контролируемым проводом и контролируемыми обкладками. В разрабатываемой установке это расстояние не меняется, так как контролируемый датчик имеет две вращающиеся контролируемые обкладки, не дающие возможности для возникновения этой погрешности.  $D + \Delta D$  - диаметр контролируемого объекта и возможное отклонение диаметра этого объекта. При изготовлении проволоки, диаметром от 2 до 5 мм, отклонение внешнего диаметра, по стандарту, составляет 50 -100 мкм.  $\mu + \Delta\mu$  - проводимость внешней среды, в нашем случае это воздух. Значение магнитной проницаемости воздуха по справочнику составляет  $\sim 1,000038$  и может колебаться в диапазоне от 0,999937 до 1,0034, в зависимости внешних факторов среды.  $f + \Delta f$  - частота питающей сети и её отклонение. В РФ частота питающей сети имеет значение 50 Гц, отклонение в РФ допускается  $\pm 0,2$  Гц в соответствии с ГОСТ 32144-2013.  $E + \Delta E$  – значение энергии излучаемой контролируемой обкладкой и её отклонение. Значение энергии рассчитывается по закону Ома:

$$E = U I, \quad (8.1)$$

где  $U$  - напряжение питающей сети;  $I$  - сила тока. В соответствии с ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009) допускается отклонение  $\pm 10\%$  по обоим величинам. Следовательно отклонение значения энергии  $E$  будет не более 10%.

### 8.2 Математические модели для расчета интенсивностей отказов основных комплектующих изделий

1) Математическая модель для расчета интенсивностей отказов резисторов, конденсаторов, полупроводниковых элементов, трансформаторов и мотонных изделий вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot \alpha_i \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (8.2)$$

где  $\lambda_0$  – номинальное значение интенсивности отказов перечисленных КИ, соответствующее коэффициенту электрической нагрузки  $K_n = 1$  и температуре окружающей среды  $T_{0C} = +200C$ .

Значения  $\lambda_0$  выбираются из соответствующих таблиц:

$\alpha_i = f(K_n, T_{0C})$  – поправочные коэффициенты, значения которых выбираются из соответствующих таблиц:

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

$\alpha_1$  – поправочный коэффициент для определения  $\lambda_{Э}$  резисторов выбирается из таблицы;

$\alpha_2$  – поправочный коэффициент для определения  $\lambda_{Э}$  конденсаторов выбирается из таблицы;

$\alpha_3$  – поправочный коэффициент для определения  $\lambda_{Э}$  полупроводниковых приборов выбирается из таблицы;

$\alpha_4$  – поправочный коэффициент для определения  $\lambda_{Э}$  трансформаторов и точных изделий (дросселей, катушек индуктивности) выбирается из таблицы.

$K_i$  – поправочный коэффициент, учитывающий действия внешних воздействующих факторов и выбирается из соответствующих таблиц:

$K_1, K_2$  – поправочные коэффициенты, учитывающие воздействия соответственно вибрациям и ударных нагрузок на неамортизированную аппаратуру, значения данных коэффициентов выбираются из таблицы;

$K_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий влажность и температуру окружающей среды, выбирается из таблицы;

$K_4$  – поправочный коэффициент, учитывающий изменение  $\lambda_{Э}$  в зависимости от высоты над уровнем моря, выбирается из таблицы.

2) Математическая модель для расчета интенсивностей отказов реле рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{Э} = \lambda'_0 \cdot K_F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (8.3)$$

где  $\lambda'_0$  – базовое значение интенсивности отказов реле, которое вычисляется по формулам:

$$\lambda'_0 = 0,1 + \frac{0,9\lambda_0 n}{N} \quad (8.4)$$

$$\lambda'_0 = 0,1 + \frac{0,9\lambda_0 n}{N} \quad (8.5)$$

Формула (9.4) используется для реле с диаметром провода обмотки  $d \geq 0,35$  мм; формула (9.5) используется для реле с диаметром провода обмотки  $d < 0,35$  мм.

$N$  – общее число контактных пар;

$n$  – число задействованных контактных пар;

$\lambda_0$  – номинальное значение интенсивности отказов реле, выбираемое из таблицы.

$K_i$  – поправочный коэффициент, учитывающий воздействие внешних факторов ( $i = 1, 2, 3, 4$ ). Значения коэффициентов  $K_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) выбираются соответственно из таблиц.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

KF – коэффициент, учитывающий частоту коммутации реле при работе в изделии, значения данного коэффициента выбираются из таблицы.

3) Математическая модель для расчета интенсивности отказов интегральных микросхем вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{0}^{ис} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (8.6)$$

где  $\lambda_{0}^{ис}$  – базовое значение интенсивности отказов интегральных микросхем вычисляется по следующей формуле:

$$\lambda_{0}^{ис} = 0,8 \lambda_{0}^{ис} + \frac{0,2\lambda_0}{3} \cdot n, \quad (8.7)$$

где  $\lambda_{0}^{тр}$  – базовое значение интенсивности отказов маломощных транзисторов, определяется предварительно (как дискретного элемента);

n – количество внешних задействованных выводов микросхемы;

$K_i$  – ( $i = 1,2,3,4$ ) выбираются соответственно из таблиц.

4) Математическая модель для расчета интенсивности отказов коммутационных элементов (тумблеры, переключатели, кнопки) вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot K_f \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (8.9)$$

где  $\lambda_0$  – номинальное значение интенсивности отказов, выбирается из таблицы;

$K_f$  – коэффициент, зависящий от частоты включения, значения данного коэффициенты выбираются из таблицы;

$K_i$  – ( $i = 1,2,3,4$ ) выбираются соответственно из таблиц.

5) Математическая модель для расчета интенсивности разъемов рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot K_{кк} \cdot K_{кк} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (8.10)$$

где  $\lambda_0$  – номинальное значение интенсивности отказов разъемов, выбирается из таблицы;

$K_{кк}$  – коэффициент, зависящий от количества сочленений-расчленений, выбирается из таблицы;

$K_{кк}$  – коэффициент, зависящий от количества задействованных контактов, значения данного коэффициента рассчитывается по формуле :

$$K_{кк} = e^{[(N-1) \cdot 0,1]^{0,51}} \quad (8.11)$$

где N – количество задействованных контактов;

$K_i$  – ( $i = 1,2,3,4$ ) выбираются соответственно из таблиц.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

б) Математическая модель для расчета интенсивности отказов электрических кабелей, проводов, шнуров вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot K_{\Phi} \cdot L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (8.12)$$

где  $\lambda_0$  - номинальное значение интенсивности отказов разъемов, выбирается из таблицы;

$L$  - суммарная длина кабеля (провода, шнура); для изделий с  $L \leq 3$  м допускается принимать  $L = 1$  м;

$K_{\Phi}$  - функциональный коэффициент, значение данного коэффициента вычисляется по формуле:

$$K_{\Phi} = \exp\left[-\frac{E_a K_t}{R_a}\right], \quad (8.13)$$

где  $E_a$  - условная энергия активации кДж/гр·моль;

$R_a = 8,3144$  - универсальная газовая постоянная дж/град·г·моль;

$K_t$  - температурный коэффициент, зависящий от рабочей температуры окружающей среды в аппаратуре находится по формуле:

$$K_t = \frac{1}{273+t_p} - \frac{1}{273+t_a}, \quad (8.14)$$

где  $t_a$  - базовая температура, равная 25<sup>0</sup>С или 100<sup>0</sup>С (по типу кабеля);

$t_p$  - рабочая максимальная температура в аппаратуре (изделии);

Как правило, максимальная температура изделия с учетом перегрева находится в диапазоне 70<sup>0</sup>С – 80<sup>0</sup>С.

Величина условной энергии активации (в среднем) в достаточно широком диапазоне имеет уровень  $E_a \approx 85$  кДж/г·моль. С учетом указанных ограничений для практических расчетов в формуле (9.13) рекомендуется использовать значения  $K_{\Phi} = 90$  (при  $t_a = 25^0$ С).

$K_i$  - ( $i = 1,2,3,4$ ) выбираются соответственно из таблиц.

7) Математическая модель для расчета интенсивности отказов соединений (паек):

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (8.15)$$

где  $\lambda_0$  - номинальное значение интенсивности отказов паяк;

$n$  - количество паяк в изделии;

$K_i$  - ( $i = 1,2,3,4$ ) выбираются соответственно из таблиц.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

8) Математическая модель для расчета интенсивности отказов предохранителей

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot K_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (8.16)$$

где  $\lambda_0$  - номинальное значение интенсивности отказов предохранителей;

$K_T$  – тепловой коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды для предохранителей; значения данного коэффициента выбираются из таблицы ;

$K_i$  – ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) выбираются соответственно из таблиц.

### 8.3 Расчет общего значения интенсивности отказов для всех элементов системы.

Полный расчет для каждого элемента представлен в приложении 10. Расчет велся для каждого элемента платы счета, индикации, управления, коммутации и отображения информации.

Рассчитаем общее значение интенсивности отказов по формуле

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4, \quad (8.17)$$

где  $\lambda_1$  - значение интенсивности отказов для платы коммутации и отображения информации

$\lambda_2$  - значение интенсивности отказов для платы счета

$\lambda_3$  - значение интенсивности отказов для платы управления

$\lambda_4$  - значение интенсивности отказов для платы индикации

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 41,36242 \cdot 10^{-6} + 72,215 \cdot 10^{-6} + 102,7624 \cdot 10^{-6} + 39,6682 \cdot 10^{-6} = 256,00802 \cdot 10^{-6} \text{ 1/час}$$

Получено общее значение интенсивности отказов равным  $256,00802 \cdot 10^{-6}$  1/час

### 8.4 Расчет наработки до отказа

Величина средней наработки на отказ изделия в целом в активном режиме рассчитывается по следующей формуле:

$$T_0 = \sum_{j=1}^m \lambda_j \quad (8.18);$$

где  $\lambda_j$  - параметр потока отказов  $j$ -ой сборочной единицы.

$m=1, 2, \dots$  - количество сборочных единиц, входящих в изделие;

$n= 1, 2, \dots$  - количество элементов в  $j$ -ой сборочной единице.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61



$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \quad (8.19)$$

$$T_0 = \frac{1}{256,00802 \cdot 10^{-6}} = 3900 \text{ час.}$$

Расчет вероятности безотказной работы в зависимости от времени работы прибора. Для структурной схемы надежности, вероятность безотказной работы проектируемой системы, в течение времени, с учетом принятых выше допущений, рассчитывается по формуле:

$$P_c(t) = \exp(-100 \cdot \lambda \cdot t) \quad (8.20)$$

За восьмичасовую смену вероятность, безотказной работы составит:

$$P_c(8) = \exp(-256,00802 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 8) = 0,91$$

За десять лет службы, вероятность безотказной работы составит:

$$P_c(8) = \exp(-256,00802 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 20000) = 0,257$$

#### Выводы по разделу восемь

В данном разделе произведен точностной расчет узла контроля, рассчитаны математические модели интенсивности отказов всех элементов проектируемой системы, рассчитано суммарное значение интенсивности отказов. Произведен расчет наработки до отказа. Рассчитана вероятность безотказной работы. Таким образом, проектируемая система обладает значительной надежностью и способна работать длительное время.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

## 9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 9.1 Обеспечение безопасных условий труда на автоматизированном участке

Основными носителями травмирующих и вредных факторов, возникающих при эксплуатации установки, могут являться конструктивные особенности промышленной установки, повышенные уровни шума и вибраций, электромагнитных излучений, источники электроэнергии, нерегламентированные действия работников, нарушения режимов работы и организации деятельности, а также несоблюдение установленных по ГОСТ характеристик микроклимата рабочей зоны.

Рассмотрим каждый вариант нарушения с точки зрения требований стандартов.

#### 9.1.1 Конструктивные особенности установки

В связи с конструктивными особенностями установки (наличие зоны автоматического перемещения, высокие скорости перемещения исполнительных устройств) при её работе возможно влияние на рабочих таких физически-опасных производственных факторов как: подвижные части (исполнительных устройств) установки; передвигающихся инструментов и материалов.

Главными причинами влияния опасных производственных факторов при эксплуатации установки считаются: непредусмотренные движения исполнительных устройств установки при наладке, ремонте, во время обучения и исполнения работы; внезапный отказ в работе установки; ошибочные (непреднамеренные) действия оператора или наладчика во время наладки и ремонта при работе в автоматическом режиме; нарушение условий эксплуатации; нарушение требований безопасности труда при работе оборудования.

#### 9.1.2 Электробезопасность

Основными причинами электротравм являются:

- прикосновение к частям электросети и электрооборудования, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции (например, к корпусу электродвигателя, имеющему замыкание на корпус, или к электромагниту);
- нахождение вблизи места замыкания на землю (например, вблизи оборванного электропровода, упавшего на землю или касающегося земли); прикосновение к металлическим предметам, случайно оказавшимся под напряжением;
- прикосновение к электрически заряженному электрооборудованию (конденсаторам, кабелям);
- различные явления замыкания на землю, короткие замыкания, связанные с образованием электрической дуги.

Электрооборудование установки должно удовлетворять требования безопасности по ГОСТ 12.1.038-82. То есть, так как при работе приборов использует-

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

ся переменный ток с частотой в 50 Гц, то предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены в размере:  $U =$  не более 2 В,  $I =$  не более 0,3 мА. Электрооборудование установки должно быть оснащено пусковой аппаратурой, исключающей самостоятельное включение установки при появлении внезапно пропавшего напряжения.

#### 9.1.3 Уровень шума

Шумовые характеристики установки должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12.1.003-83(1999). Так как установка будет установлена в производственном цехе, то уровень шума составит не более 80 дБ, что является максимальным допустимым значением шумовых помех.

#### 9.1.4 Уровни вибрации

Уровень вибрации, которая возникает на рабочем месте оператора, обслуживающего установку, регламентируются по ГОСТ 12.1.012-90. Данный стандарт допускает повышение вибрационной нагрузки на оператора не более чем в 4 раза, то есть не более 12 дБ. Так как установка расположена в цехе по производству и изолированию проводов, то уровень вибрационной нагрузки составит не более чем 4 дБ, с учетом возникновения возможных вибрационных нагрузок самой установки.

#### 9.1.5 Пожаробезопасность

Установка должна удовлетворять требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.044-89. В соответствии со стандартом, так как в конструкции не применяются огнеопасные материалы и вещества, а сама конструкция состоит из металлических частей, работающая под напряжением, то при пожаротушении необходимо применять порошковый огнетушитель и при возникновении опасной ситуации необходимо немедленно отключить питание прибора.

#### 9.1.6 Освещенность рабочего места

Характеристики освещения рабочего места должны удовлетворять требованиям ГОСТ ИСО 8995-2002.

#### 9.1.7 Микроклимат рабочего места

Уровень микроклимата на рабочем месте оператора, который обслуживает установку, регламентируется по ГОСТ 12.1.005-88. Данный вид работ подпадает под значение работ средней тяжести II а, для которых определены характеристики: для холодного времени года  $T = 18-20$  °С, относительная влажность 40-60%,  $v$  движения воздушных масс 0,1 м/с; для теплого времени года  $T = 21-23$  °С, относительная влажность 40-60%,  $v$  движения воздушных масс 0,3 м/с.

#### 9.1.8 Автоматика управления и безопасности установки

Система управления установкой должна иметь устройство аварийного выключения, срабатывающее по команде оператора при возникновении нештатной

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

ситуации, которая может привести к появлению каких-либо опасных факторов, независимо от того в каком режиме работала установка. При срабатывании устройства аварийной остановки должно прекратиться любое движение независимо от режима его работы, как это предусмотрено при конструировании. Повторное включение после аварийной остановки должно осуществляться только после приведения всех исполнительных органов в исходное положение и только после команды оператора.

#### 9.1.9 Обязанности обслуживающего персонала

Перед началом работы должен быть произведен пробный цикл работы автоматизированной установки на холостом ходу. Оператор или наладчик должен убедиться в исправном состоянии установки и средств защиты, так при обнаружении неполадок должен обеспечить их устранение. Перед началом работы должна быть проведена тестовая проверка функционирования частей установки. При этом блокировочные устройства должны срабатывать в соответствии с электрической схемой. Неполадки и аварийные ситуации, возникшие во время работы установки должны ежемесячно записываться оператором или наладчиком в спец. журнале, форму которого установлена предприятием и утвержденная главным инженером.

#### 10.2 Расчет искусственного освещения

Важным вопросом охраны труда является освещение рабочего места. Правильно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда. Искусственное освещение по способу расположения источников света делятся на: общее, местное и комбинированное.

Светотехнические расчеты считаются основополагающим фактором при проектировании и разработке осветительных установок. Целью расчета обычно является определение числа и мощности светильников, необходимых для получения заданной освещенности. Реже производятся проверочные расчеты, т.е. определяется освещенность в определенных точках при заданных параметрах светильника. При работе операторов установки используется общее освещение, для расчета которого в условиях эксплуатации наиболее удобным и приемлемым является метод коэффициента использования светового потока.

Для обеспечения требуемой освещенности предусмотрена общая система искусственного освещения, при которой светильники располагаются в верхней зоне помещения равномерно. Работа операторов связана с прочтением машинного текста и текста, светящегося на экране.

Наименьший размер объекта различения 1-5 мм., поэтому предусматриваются следующие нормированные значения коэффициента естественной освещенности.

- Характеристика зрительной работы высокой точности.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

- Разряд зрительной работы ШБ.
- Контраст различения с фоном – средний.
- Освещенность при общем освещении – 200 лк.
- При верхнем освещении коэффициент естественной освещенности –5%.

Нормирование значений освещенности коэффициента естественной освещенности на рабочих поверхностях при естественном и совместном освещении по данным указанным в таблице 12.

Таблица 12

Хар-ка зрительной работы	Разряд зрительной работы	Искусственное освещение, Лк		Естественное		Совместное	
				КЕО,%		КЕО,%	
		Комб.	Общее	Верх-нее	Боко-вое	Верх-нее	Боко-вое
Высокой точности	ШБ.	400	200			4,2	1,5

Порядок расчета освещения по методу коэффициента использования светового потока сводится к следующему:

- 1) Определяется нормированное значение освещенности для общего освещения (E0).
- 2) Выбирается тип источника и светильника согласно требованиям.
- 3) Определяется высота подвеса светильников.
- 4) Находится расстояние между рядами светильников (L), крайним рядом и стеной (I).определяется необходимое количество светильников N.

Требуется рассчитать освещение помещения по следующим данным:

- Длина помещения А – 6 м.
- Ширина помещения В = 4 м.
- Высота = 3 м.

Потолок покрашен белой краской, стены - светлой краской.

Нормативная освещенность для такого помещения составляет 600 лк для газоразрядных ламп и 300 лк для ламп накаливания. В общественных, административных и подобных им зданиях из числа газоразрядных ламп должны применяться только люминесцентные лампы.

Люминесцентные лампы неизбежно применяются при повышенных требованиях к цветопередаче независимо от разряда работ.

Согласно этому, для освещения берем люминесцентные лампы, которые имеют ряд существенных преимуществ, в числе которых:

- Высокая свето-отдача, которая достигает 75 лм/Вт.
- Большое время службы, достигающий до 10.000 часов.
- Возможность иметь источники света различного спектрального состава , при лучшей для большинства типов цветопередачи, чем лампы накаливания.
- Относительно малая (хотя и создающая ослепленность) яркость, что в ряде случаев является достоинством.

Так как условия среды нормальные, то, исходя из этого выбираем, светильники с люминесцентными лампами (ЛБ-40) серии ЛСП02, условный номер группы 3.

Высоту свеса светильников принимаем равной  $h_c = 0.25$  м, высота рабочей поверхности  $h_p = 0.8$  м (столы), тогда высота подвеса светильников:

$$h = H - h_c - h_p = 3 - 0,25 - 0,8 = 1,95$$

Расстояние между рядами светильников по ширине здания:

$$L = \lambda_c h \quad (10.1)$$

где  $\lambda_c$  - светотехническое наивыгоднейшее расположение рядов светильников (находится по таблице).

$$\lambda_c = 1,4$$

$$L = 1,4 * 1,95 = 2,75 \text{ м}$$

Расстояние  $l$  между светильниками и стеной обычно принимается равным  $(0,25 \dots 0,3)L$ , если рабочие места расположены у стен, тогда

$$l = 0,25 * 2,75 = 0,68 \text{ м}$$

Число рядов светильников по ширине помещения:

$$M = \frac{(B - 2l)}{L + 1} \quad (10.2)$$

$$M = \frac{(4 - 2 * 0,68)}{2,73 + 1} = 1,967$$

Принимаем  $M = 2$ .

Определим коэффициент использования светового потока  $\eta$ , характеризующий отношение потока падающего на расчетную поверхность к суммарному потоку всех ламп, в функции индекса помещения и коэффициентов отражения стен  $p_c$  и потолка  $p_{п}$ , рабочего оборудования  $p_o$  по таблицам.

						15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			68

$$p_c = 30\%$$

$$p_{\Pi} = 50\%$$

$$p_o = 10\%$$

Индекс помещения вычисляется по формуле:

$$I = \frac{S}{h(A + B)} \quad (10.3)$$

$$I = \frac{4 * 6}{1,95(6 + 4)} = 1,23$$

По таблице находим коэффициент использования светового потока :

$$\eta = 52 \%$$

Для лампы ЛБ-40 (мощностью 40 Вт) световой поток составляет  $\Phi_{\text{л}} = 2850\text{лм}$  (данные берутся из таблицы «Технические данные люминесцентных ламп»).

Необходимое число светильников вычисляется по формуле:

$$N = \frac{E * S}{\eta * n * \Phi_{\text{л}} * K}, \quad (10.4)$$

где  $K$  – коэффициент запаса, характеризующий снижение освещенности при эксплуатации (данные из таблицы), для помещений с нормальной воздушной средой при газоразрядных лампах  $K = 0,8$ ;

$n$  – число ламп в светильнике,  $n = 2$  шт.

$$N = \frac{600 * 24}{0,52 * 2 * 2850 * 0,8} = 6$$

Размещение светильников:

Число светильников в ряду рассчитываем по формуле:

$$N_i = \frac{N}{M} = \frac{6}{2} = 3$$

Общая длина светильников в ряду  $l_{\text{общ}}$  определяется по формуле:

$$l_{\text{общ}} = \frac{l_c}{N_i}, \quad (10.5)$$

где  $l_c$  – длина одного светильника по справочнику.

$$l_{\text{общ}} = 1,237 * 3 = 3,711 \text{ м}$$

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Расстояние между светильниками в ряду  $l_n$  (в том числе расстояние между столбом и крайним светильником в ряду) рассчитываем по формуле:

$$l_n = \frac{A - l_{\text{общ}}}{n_n}, \quad (10.6)$$

где  $n_n$  - число всех промежутков в ряду,  $n_n = 4$

$$l_n = 0,57$$

В результате проведенных расчетов получим, что для требуемой освещенности автоматизированного участка площадью  $24 \text{ м}^2$ , требуется 6 светильников ЛСП02 с лампами ЛБ-40 (в каждом светильнике 2 лампы), расположены в два ряда в соответствии с рисунком 9.1.

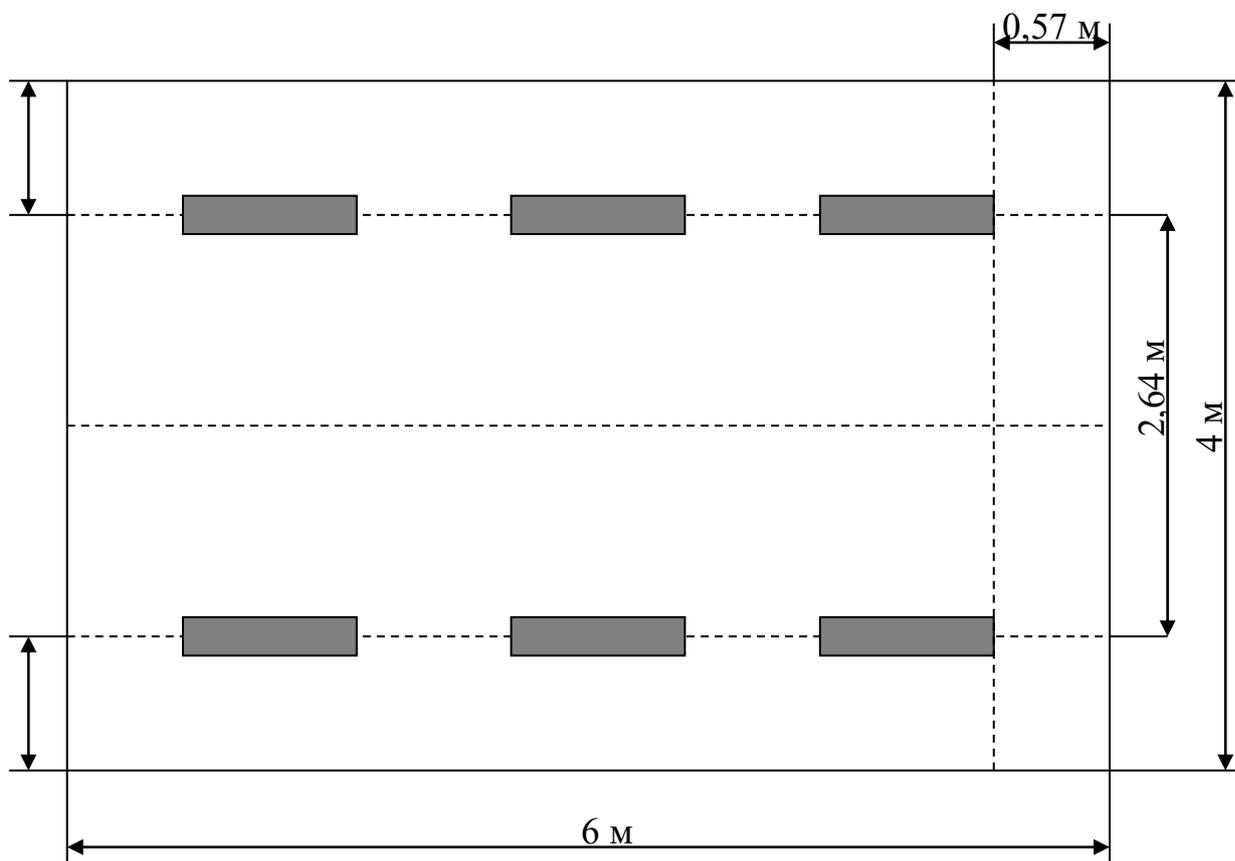


Рисунок 9.1 – План расположения светильников

### 9.3 Выявление и оценка радиоактивной обстановки при чрезвычайной ситуации

Под радиоактивной чрезвычайной обстановкой принято понимать совокупность всех факторов (условий), которые оказывают воздействие на безопасность жизнедеятельности населения и работу хозяйственных объектов.

Радиационная обстановка обычно возникает при авариях на каком-либо радиационно опасном объекте (например, завод по переработке и обогащению ядерного топлива), а также в случае ядерного взрыва. Оценка радиационной обстановки – это изучение и исследование масштабов и степени радиационного загрязнения (загрязнения) территории, которое оказывает влияние на безопасность жизнедеятельности человека и на работу хозяйственных объектов.

Радиационную обстановку характеризуют 2-мя главными параметрами: площадью зон поражения и уровнем радиации.

Выявление радиационной обстановки – это значит: определение и нанесение на рабочую карту (схему или план) зону территории радиационного загрязнения и уровня радиации. Выявить радиационную обстановку можно используя два способа: прогнозирование (предсказания) и по данным радиационной разведки.

Цель прогнозирования радиационного поражения - это установка, с определенной степенью точности, расположения и размеров зоны радиоактивного поражения.

Первый способ выявления радиоактивной обстановки выполняется штабами гражданской обороны хозяйственных объектов и вышестоящими штабами. Полученные данные прогнозируемой обстановки применяются для:

- a) своевременного уведомления жителей о ЧС;
- b) проведения заблаговременных мероприятий мер защиты;
- c) оперативной постановки задач для ведение радиационной разведки.

Второй способ выявления используют невоенизированные формирования, а также штабы гражданской обороны хозяйственных объектов.

Начальные сведения для оценки радиационной обстановки при ЧС добываются службами разведки, то есть: постами радиационного и химического наблюдения; звеньями или группами радиационной и химической разведки, а также из информации, поступающей от соседних и вышестоящих штабов гражданской обороны.

Если авария произошла на атомной электростанции исходными данными для оценки радиоактивной обстановки будут являться: тип и мощность реактора; в какое время произошла авария; реальные измерения мощности доз облучения; метеорологические условия.

Если произошел ядерный взрыв исходными данными для оценки радиоактивной обстановки будут являться: вид, мощность и время, когда произошел

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

взрыв; местоположение взрыва; измеренные дозы облучения; метеорологические условия.

После выявления обстановки производится ее оценка. Под оценкой обстановки понимают решение задач по различным действиям невоенизированных формирований гражданской обороны, производственной деятельности хозяйственных объектов и населения в условиях радиационного заражения (загрязнения). Такими задачами являются:

- a) измерение доз облучения при действиях в зонах заражения;
- b) расчет допустимого времени начала работ в зоне (начала входа в зону) заражения по заданной (допустимой или установленной) дозе облучения;
- c) определение допустимой продолжительности пребывания в зоне заражения по заданной дозе облучения;
- d) определение потребного количества смен для выполнения работ в зоне заражения, и другие.

Определение возможных доз облучения за время пребывания в зоне заражения дает возможность оценить степень опасности поражения людей и наметить пути для принятия всевозможных мер. С этой целью рассчитанное значение дозы облучения сравнивают с допустимой дозой. Если окажется, что люди получат дозу, превышающую допустимую, то необходимо сократить время пребывания в зоне или начать работы позже. Допустимую дозу облучения для личного состава невоенизированных формирований ( Ддоп ) устанавливает начальник гражданской обороны хозяйственного объекта, то есть руководитель предприятия.

#### Выводы по разделу девять

В данном разделе рассмотрели вопрос обеспечения безопасных условий труда на разработанном автоматизированном участке, выяснили что может являться носителями травмирующих и вредных факторов, возникающих при эксплуатации установки. Рассчитали общее искусственное освещение, для прое тируемого автоматизированного участка и изобразили план расположения светильников. Так же рассмотрели вопрос о выявление и оценка радиоактивной обстановки при чрезвычайной ситуации.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

## 10 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Разрабатываемая система предназначена для увеличения скорости проверки качества деталей типа «вал» (круглый стальной прокат различного диаметра). Преимущество установки в синхронизации работы системы подачи, контроля и маркировки дефектных зон. Когда скорость подачи регулируется системой, чтобы не влиять на точность контроля, а маркировщик точно помечает зону дефекта.

К моменту расчета мы обладаем следующими исходными данными:

- схема электрическая принципиальная
- элементная база

Следовательно, для расчета полной себестоимости разрабатываемой установки должен быть использован точный метод расчета.

Целью расчета является определение себестоимости для изготовления разрабатываемой автоматизированной установки.

### 11.1 Определение стоимости покупных изделий.

Общая стоимость покупных изделий рассчитывается по формуле:

$$C_{\Pi} = \sum_{i=1}^n N_i C_i \left(1 + \frac{H_{ТЗ}}{100}\right), \quad (10.1)$$

где  $C_{\Pi}$  – общая стоимость покупных изделий, руб.;

$N_i$  – количество изделий одного типа;

$C_i$  – оптовая цена одного типа изделия, руб.;

$i = 1 \dots n$  – наименование (перечень) видов материалов на изготовление единицы изделия;

$n$  – количество типов изделий;

$H_{ТЗ}$  – транспортно-заготовительные расходы 7% от стоимости покупных изделий

$$C_{\Pi} = 73438,95 \text{ руб}$$

Результат расчета стоимости покупных материалов и изделий для проектируемого прибора представлен в таблице 13.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Таблица 13 - Результат расчета стоимости покупных материалов и изделий

Наименование	Цена, руб.	Количество, шт.	Стоимость, руб.
1	2	3	4
Вилка РП 14-30Л	207,87	1	207,87
Вилка РСГ 10ТВ	196,35	1	196,35
Вилка СНП268-37ВП32-33-В	596,40	1	596,40
Вилка СНП346-14ВП21-2-В	224,55	2	449,10
Вилка СНП346-80ВП31-2-В	178,83	1	178,83
Диод 2Д212А	93,43	4	373,72
Диод 2Д212А/СО	90,01	2	180,02
Диод 2Д522Б	8,85	9	79,65
Конденсатор К10-17а- М 47-10пФ	12,66	4	50,64
Конденсатор К10-17а- Н 90-1мкФ	33,96	4	135,84
Конденсатор К10-17в- М 47-3300 пФ	26,17	3	78,51
Конденсатор К10-17в- М1500-100 пФ	15,12	6	90,72
Конденсатор К10-17в- М1500-560 пФ	15,12	2	30,24
Конденсатор К10-17в- М1500-2300пФ	15,19	3	45,58
Конденсатор К10-17в- М1500-5600 пФ	22,73	3	68,19
Конденсатор К10-17в- М1500-0,01 мФ	36,40	7	254,80
Конденсатор К10-17в- Н50-0,1 мФ	9,38	7	18,76
Конденсатор К10-17в- Н90-6800 пФ	5,91	2	11,82
Конденсатор К10-17в- Н90-0,01мФ	7,60	3	22,80
Конденсатор К10-17в- Н90-0,047 мФ	7,60	10	76,00

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4
Конденсатор К10-17В- Н90-0,1мФ	8,94	8	71,52
Микросхема 142ЕН5	406,86	5	2034,30
Микросхема 142ЕН10	616,26	1	616,26
Микросхема 249ЛП4	215,94	1	215,94
Микросхема 249ЛП8	815,38	1	815,38
Микросхема 521СА301	268,04	2	536,08
Микросхема 544УД12У3	692,20	1	692,20
Микросхема 544УД14УР3	846,65	1	846,65
Микросхема 544УД16У3	690,12	1	690,12
Резистор Р1 -12-0,125-75Ом	3,57	2	7,14
Резистор Р1 -12-0,125-2,7КОм	3,57	2	7,14
Резистор Р1 -12-0,25-1Ом	2,33	6	13,98
Резистор Р1 -12-0,25-10Ом	3,69	6	22,14
Резистор Р1 -12-0,25-33Ом	2,62	1	2,62
Резистор Р1 -12-0,25-39Ом	3,69	6	22,14
Резистор Р1 -12-0,25-47Ом	6,22	1	6,22
Резистор Р1 -12-0,25-75Ом	4,05	8	32,40
Резистор Р1 -12-0,25-100Ом	4,05	1	4,05
Резистор Р1 -12-0,25-200Ом	4,05	1	4,05
Резистор Р1 -12-0,25-220Ом	2,62	1	2,62
Резистор Р1 -12-0,25-330Ом	4,05	1	16,20
Резистор Р1 -12-0,25-820Ом	3,69	2	7,38

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4
Резистор P1 -12-0,25-1кОм	4,05	23	93,15
Резистор P1 -12-0,25-3,3 кОм	4,05	3	12,15
Резистор P1 -12-0,25-3,6 кОм	3,69	2	11,07
Резистор P1 -12-0,25-3,9 кОм	3,69	2	11,07
Резистор P1 -12-0,25-5,1 кОм	4,05	9	36,45
Резистор P1 -12-0,25-5,1 кОм	4,05	8	32,4
Резистор P1 -12-0,25-6,8 кОм	6,52	1	6,52
Резистор P1 -12-0,25-7,8 кОм	4,05	1	4,05
Резистор P1 -12-0,25-10 кОм	4,05	6	24,3
Резистор P1 -12-0,25-22 кОм	3,69	2	11,07
Резистор P1 -12-0,25-33 кОм	4,05	3	12,15
Резистор P1 -12-0,25-150 кОм	4,05	1	4,05
Резистор РП1 -212-0,25-6,8 кОм	84,41	1	84,41
Резистор P1 -8МП-0,125-5,11 кОм	33,08	2	66,16
Резистор P1 -8МП-0,125-5,62 кОм	33,08	4	132,32
Резистор P1 -8МП-0,125-9,09 кОм	33,08	2	66,16
Резистор P1 -8МП-0,125-10 кОм	33,08	10	330,80
Соединитель СНП268-37 РП12-0-В	342,79	1	342,79

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ

Лист

76

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4
Соединитель СНП346-80 РП21-2-В	1243,01	1	1243,01
Генератор звука SCO715BLLF	550,00	1	550,00
Стабилитрон 2С133А	32,60	3	97,80
Транзистор 2П769А	126,14	1	126,14
Транзистор 2П769В	337,60	1	675,20
Транзистор 2Т3130Б	53,10	3	159,30
Транзистор 2Т664А9	218,54	2	437,08
Транзистор 2Т665А9	217,80	4	871,20
Мост выпрямительный М2 ТПК-125-1	605,44	3	1816,32
Трансформатор ТИМ-187В	102,93	1	102,93
Вихретоковый датчик	9700	1	9700
Электромагнит ПЭ-10	1071,55	1	1071,55
Маркер	120,00	1	120,00
Электродвигатель	5700	6	34200
Датчик линейной скорости	6200	1	6200
Преобразователь частоты	4300	6	25800
Контроллер «Каскад»	5800	1	5800
ИТОГО			68633,80

11. 2 Определение основной заработной платы производственных рабочих.

Расчет основной заработной платы ( $Z_0$ ) сведен таблицу 14.

Размер прямой заработной платы определяется исходя из суммарной трудоемкости изготовления прибора по каждой операции и тарифной ставке данной операции.

Таблица 14 - Расшифровка трудовых затрат на изготовление одного образца

Вид операции	Раз- ряд	Суммарная трудоемкость в норма часах	Тарифная ста- вка, руб.	Тарифная за- работная пла- та, руб.
1	2	3	4	5
Заготовительная	3	75	7,75	582,25

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
Мехобработка	4	200,00	8,76	1752,00
Сборочная	5	215,00	9,77	2100,55
Испытания	6	75	11,3	847,50
Итого:		640		5282,30

### 11.3 Определение дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата составляет 15% от размера основной заработной платы.

$$З_{д} = З_{о} \cdot 0,15 = 792,35 \text{ руб.}$$

### 11.4 Определение величины отчислений на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды принимаются равным 30,2% от суммы основной и дополнительной заработной платы:

Отчисления делаются в: а) в пенсионный фонд РФ -22% ;

б) фонд социального страхования (2,9%)-отчисления в фонд временной нетрудоспособность, материнства и детства; 0,2 – страховые отчисления на риск профессиональных заболеваний (проектная деятельность);

в) фонд обязательного медицинского страхования (5.1% в федеральный бюджет).

Отчисления на социальное страхование рассчитывается по формуле:

$$З_{сс} = (З_{о} + З_{д})Н_{сс} \quad , \quad (10.2)$$

где  $Н_{сс}$  – норматив отчислений на социальные нужды.

$$З_{сс} = 1834,54 \text{ руб}$$

### 11.5 Определение величины накладных расходов

Данная статья является комплексной и включает в себя расходы, связанные с эксплуатацией оборудования; с использованием электроэнергии; с выплатой заработной платы работникам заводууправления; вспомогательным и обслуживаю-

										Лист
										78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ					

щим рабочим; со стоимостью различных заводских работ; с текущим ремонтом оборудования и транспортных средств и др.

Величина накладных расходов берется в размере 212% от основной заработной платы производственных рабочих.

Величину накладных расходов определяется по формуле:

$$P_{\text{ОП}} = Z_0 N_{\text{ОП}} \quad (10.3)$$

$$P_{\text{ОП}} = 11198,48 \text{ руб}$$

#### 11.6 Определение производственной себестоимости

Величина производственной себестоимости рассчитывается путем суммирования всех вышеизложенных пунктов:

$$C_{\text{Пр}} = C_{\text{П}} + Z_0 + Z_{\text{д}} + Z_{\text{СС}} + P_{\text{ОП}} \quad (10.4)$$

Для проектируемой системы:

$$C_{\text{Пр}} = 73438,95 + 5282,30 + 792,35 + 1834,54 + 11198,48 = 92546,92 \text{ руб.}$$

#### 11.7 Определение коммерческих расходов

Коммерческие расходы составляют 5% от производственной себестоимости:

$$P_{\text{К}} = 92546 \cdot 5\% = 4627,34 \text{ руб.}$$

#### 11.8 Определение полной себестоимости

Полная себестоимость рассчитывается как сумма производственной себестоимости и коммерческие расходы:

$$C_{\text{Пол}} = C_{\text{Пр}} + P_{\text{К}} \quad (10.5)$$

$$C_{\text{Пол}} = 4627,34 + 92546,92 = 97173,96 \text{ руб}$$

#### Выводы по разделу десять

Таким образом, полная себестоимость составляет 49982,751 руб. При этом максимальную долю расходов в цене и себестоимости прибора составляют покупные комплектующие изделия 46,17 % далее идут накладные расходы 18,15 %, далее идет основная заработная плата 8,56%.

Снижение производственной себестоимости возможно по следующим направлениям:

- поиска более дешевых комплектующих изделий;
- совершенствование конструктивных решений;
- совершенствование технологии изготовления.

					15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная автоматизированная установка вихретокового контроля, подобна уже разработанным системам, основное отличие в том, что для узла контроля был произведен выбор конструкции датчика (катушки) и произведен расчет параметров датчика (катушки). Данная установка разрабатывалась под контроль детали типа вал с диаметром от 4 до 36 мм, так же установка может контролировать провод диаметром от 1.4 мм при минимальной перенастройке.

Для узла маркировки был решен вопрос управления расходом краски и типом маркировки (точечная или протяженная). Разработана конструкции маркирующего устройства на основе закона Архимеда.

Разработана программно-аппаратная система управления автоматизированной установкой на базе универсального контроллера «Каскад».

Таким образом, считаю, что выполнив данную выпускную квалификационную работу, были достигнуты всех цели и задачи поставленные перед нами т.е. обосновали необходимость разработки и разработали автоматизированную установку вихретокового контроля прутковых заготовок, которая будет контролировать и маркировать широкий спектр изделий за счет универсальных возможностей, быстрой перенастройки и адаптации к изделиям разных форм и размеров.

										Лист
										80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.04.2017.013.00.00 ПЗ					